



Trabajo Fin de Máster

*Definición y validación de una metodología
para correlacionar concentración de
contaminantes atmosféricos e ingresos
hospitalarios*

Autora: María de la Concepción Jiménez (Lda. Ciencias Ambientales)

Tutor: Prof. Dr. Eladio M. Romero González

Máster Ingeniería Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (Universidad de Sevilla)

Curso académico: 2014/2015

ÍNDICE

Resumen	3
1. Introducción	6
1.1 Introducción general	7
1.2 Definición de la contaminación atmosférica	13
1.3 El problema para la salud	20
2. Red de vigilancia ambiental de Sevilla	23
3. Legislación aplicable	27
4. Contexto de la investigación y Objetivos	33
4.1 Estudios previos	34
4.2 Contexto	47
4.3 Objetivos	61
5. Metodología	62
6. Resultados	71
6.1 Resultados por contaminante	76
6.2 Resultados generales	100
7. Conclusiones	106
8. Bibliografía	109

Resumen

El creciente desarrollo económico y tecnológico, unido a un aumento de la población mundial está provocando un incremento del consumo energético dependiente aun hoy día de los combustibles fósiles, lo que está generando la contaminación del medio ambiente, especial relevancia tiene la contaminación atmosférica. Si bien hay regiones del mundo con mayor tendencia a sufrir los efectos adversos de dicha contaminación, esta es en última instancia un problema global, que traspasa fronteras entre países.

Diversos organismos ya alertan de los riesgos para la salud de la población de altos niveles en la concentración de contaminantes, por lo que la preocupación mundial radica en la prevención de enfermedades que puedan estar relacionadas con la contaminación ambiental, existiendo estudios científicos que correlacionan altos niveles de contaminación atmosférica con enfermedades de muy diversa índole pero sobre todo con aquellas relacionadas con el aparato respiratorio y/o cardiovascular. La mayor parte de estos, se realizan en lugares donde se superan los umbrales establecidos por la legislación en la concentración de contaminantes.

Solo algunos estudios aislados se ocupan de áreas en las que no se superan los valores límites legislados, este es el caso de la ciudad de Sevilla y su área metropolitana donde a pesar de no resultar el entorno más favorable para llevar a cabo nuestro estudio, este surge en el marco de los Compromisos de Aalborg y el Plan de Acción de Energía Sostenible (PAES) suscritos por la ciudad.

En estos lugares sin relevancia aparente de la contaminación atmosférica, se producen ingresos hospitalarios por afección pulmonar, de carácter idiopático o no provocado (cuando el origen de la enfermedad es desconocido). Esto representa una inquietud para la comunidad médico-científica cuyo objetivo principal es vislumbrar el origen de la enfermedad. Además a esta inquietud, se une la inexistencia de una metodología propuesta por organismos e instituciones que coordinan acciones sanitarias, como la Organización Mundial de la Salud (OMS), para correlacionar contaminación atmosférica y enfermedades respiratorias.

Si existen modelos de correlación de contaminación atmosférica, aplicables a focos fijos, que nos permiten conocer las concentraciones esperadas en el entorno (isoconcentraciones) y a una determinada distancia de la fuente, son los denominados modelos gaussianos. No obstante, esta herramienta no es aplicable a los fines del presente estudio.

Es por ello por lo que algunas iniciativas de la comunidad médica recurren al ámbito administrativo que controla la contaminación atmosférica, para analizar las situaciones episódicas de altas concentraciones de contaminantes en la atmósfera urbana; y posteriormente valorar qué relación presentan estas concentraciones con los picos de mayor incidencia de ingresos hospitalarios producidos por afecciones pulmonares.

Todo esto nos lleva a la definición y propuesta de una metodología cuyo objetivo será correlacionar ambas variables, atendiendo a los niveles de inmisión encontrados en <30 días, y media de 30 días de los tres años anteriores, en la estación de referencia de control de calidad del aire en el área de influencia del lugar de residencia del paciente, para los siguientes contaminantes: PM_{2,5}, PM₁₀, CO, SO₂, NO₂ y O₃.

Una vez definida y descrita la metodología propuesta, el siguiente paso será evaluar y analizar el papel que juegan las concentraciones de cada uno de los contaminantes y poder así relacionarlo con el número de ingresos hospitalarios por afecciones respiratorias, procediendo o no a la validación de la citada metodología.

Con la aplicación de esta metodología no solo se podrá dar respuesta a un buen número de pacientes ingresados en el hospital en los que la causa de su enfermedad es desconocida sino también implicar a las autoridades sanitarias y/o medioambientales para que valoren esta situación y si así lo consideran tomar medidas en este sentido. Todo ello, tras validar la relación de causalidad, partiendo de la relación establecida.

Este TFM trata de aportar, por tanto, un mero criterio en el marco de la evaluación ambiental. Primero, por el establecimiento de los niveles de calidad del aire del estado preoperacional, en los inventarios ambientales que son de obligación entre el alcance y contenido de las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) así como de las Evaluaciones Ambientales Estratégicas (Planes y Programas).

Y segundo, por la determinación de la capacidad de acogida que un determinado territorio puede presentar ante la posibilidad de instalación de una determinada actividad potencialmente contaminadora de la atmósfera.

1. INTRODUCCION

'Respiramos desde el instante en que nacemos hasta el instante en que morimos...'

(AEMA)

1.1 Introducción general

En la actualidad, el creciente desarrollo económico y tecnológico, unido al incremento de la población mundial sobre todo durante el siglo XX, trae como consecuencia un aumento del consumo energético dependiente aún hoy día de los combustibles fósiles, lo que está generando un aumento de la contaminación del medio ambiente; especial relevancia tiene la contaminación atmosférica. La contaminación de la atmósfera está producida fundamentalmente por la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas). Hay que hacer una distinción entre la combustión de estas materias primas por un lado en el sector industrial y por otro en el transporte por carretera. Dentro del sector industrial habría que diferenciar entre las fábricas (por ejemplo, de cemento o acero) y las centrales de producción de electricidad. La contribución del sector industrial y del transporte por carretera a la contaminación atmosférica, no es equitativo, ya que aproximadamente un 80% de la contaminación atmosférica en España es provocada por el tráfico rodado (Ecologistas en acción, 2006 y Colegio oficial de ingenieros industriales de Madrid, 2007)^{1 y 2 respect.}

Hay que tener en cuenta que aunque haya países y regiones del mundo con mayor tendencia a sufrir los efectos adversos de la contaminación atmosférica, comentar que esta es, en última instancia, un problema mundial. Este hecho es debido fundamentalmente a que los vientos no se detienen en las fronteras, haciendo que los contaminantes atmosféricos circulen por todo el mundo. Una parte de dichos contaminantes, así como sus precursores, encontrados en Europa han sido emitidos en Asia y América del Norte. De forma similar, una parte de los contaminantes liberados a la atmósfera en Europa son transportados a otras regiones y continentes (AEMA, 2013)³.

Lo mismo puede aplicarse a escala más pequeña. La calidad del aire en las zonas urbanas suele verse afectada por la calidad del aire en las zonas rurales de los alrededores y viceversa (AEMA, 2013)³.

Como se ha comentado anteriormente, la contaminación atmosférica es un problema mundial. De esta afirmación cabría esperarse por tanto que afecte a todo el mundo

por igual, afirmación que no es del todo cierta ya que no daña a todas las personas en la misma medida y de la misma forma. Por ejemplo, en las zonas urbanas hay más personas expuestas a la contaminación atmosférica debido a que las densidades de población en estas zonas son más elevadas. Algunos grupos de individuos son más vulnerables, entre ellos los que padecen enfermedades cardiovasculares y respiratorias, personas con vías respiratorias reactivas y alergias que afectan a dichas vías, los ancianos y los bebés (AEMA, 2013 y OMS)^{3 y 4 respect.}.

Según afirma Marie-Eve Héroux, de la Oficina Regional para Europa de la Organización Mundial de la Salud 'Incluso en Europa sigue habiendo una elevada proporción de la población que está expuesta a unos niveles que superan nuestras recomendaciones para las directrices sobre la calidad del aire'.

Aunque no es fácil estimar el alcance total de los daños que causa la contaminación atmosférica sobre la salud de las personas y el medio ambiente, se han realizado estudios que se concentran en determinados sectores o fuentes de contaminación.

Si nos referimos al proyecto *Aphekom*, cofinanciado por la Comisión Europea, la contaminación atmosférica en Europa causa una reducción de la esperanza de vida de aproximadamente 8,6 meses por persona.

Si bien se pueden utilizar algunos modelos económicos para estimar los costes de la contaminación atmosférica, los cuales suelen incluir los gastos sanitarios derivados de ella (pérdida de productividad, gastos médicos adicionales, etc.), así como los gastos debidos a una disminución de las cosechas y los daños causados a determinados materiales, estos modelos no incluyen todos los costes de la contaminación atmosférica para la sociedad.

A pesar de sus limitaciones, estas estimaciones de costes nos dan una idea de la magnitud de los daños. Casi 10000 instalaciones industriales en toda Europa comunican las cantidades de diversos contaminantes que emiten a la atmósfera al Registro Europeo de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (E-PRTR). Sobre la base de estos datos públicos, la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) ha calculado que la contaminación atmosférica de las 10000 instalaciones más contaminantes de Europa costó a los europeos entre 102000 millones y 169000

millones de euros en el año 2009. Es más, solo 191 instalaciones resultaron ser causantes de la mitad del coste total de los daños.

Así mismo existen estudios para estimar las ganancias que podrían obtenerse si se mejorara la calidad del aire. Por ejemplo, el estudio *Aphekom* predice que se aumentaría la esperanza de vida si los niveles anuales medios de material particulado 2,5 (PM_{2,5}) se redujeran a los recomendados en las Directrices de la Organización Mundial de la Salud. Se calcula que solo logrando este objetivo podrían alcanzarse aumentos en la esperanza de vida por persona que van desde 22 meses en Bucarest y 19 meses en Budapest hasta 2 meses en Málaga y menos de medio mes en Dublín.

Según estudios de la OMS²⁹ se estima que en el mundo, 1,3 millones de personas mueren al año a causa de la contaminación atmosférica urbana; más de la mitad de estas defunciones tienen lugar en países en desarrollo.

No obstante, la contaminación no se ha convertido en un problema único en regiones en desarrollo sino que afecta también a los habitantes de países desarrollados, representando un grave problema de higiene. No es extraño pensar que los residentes de aquellas ciudades con elevados índices de contaminación atmosférica padezcan más enfermedades relacionadas sobre todo con el aparato respiratorio y cardiovascular que aquellos habitantes que residan en zonas urbanas cuyo aire sea más limpio.

Son muchos los efectos a corto y a largo plazo que la contaminación atmosférica puede ejercer sobre la salud de las personas. En efecto, la contaminación atmosférica urbana aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias agudas, como la neumonía, y crónicas, como el cáncer del pulmón y las enfermedades cardiovasculares. Por ejemplo, las personas aquejadas de asma afrontan un riesgo mayor de sufrir una crisis asmática los días en que las concentraciones de ozono (O₃) a nivel del suelo son más elevadas, mientras que las personas expuestas durante varios años a concentraciones elevadas de material particulado (PM) tienen un riesgo mayor de padecer enfermedades cardiovasculares (OMS)⁴.

Además, como se comentó anteriormente, la contaminación atmosférica no afecta a todos los grupos de personas por igual. Los efectos más graves se producen en aquellas personas que ya están enfermas o tienen una patología previa. Otros grupos vulnerables en los que incide nocivamente y de forma relevante este fenómeno son los niños, los ancianos y las familias de pocos ingresos y con un acceso limitado a la asistencia médica (OMS)⁴.

El problema de la contaminación atmosférica tiene una enorme relevancia en lo que a la salud pública se refiere, ya que este problema ambiental generó 3,7 millones de muertes prematuras en el mundo durante el año 2012 (OMS, 2014)⁵. Cerca del 88% de esas muertes prematuras tuvieron lugar en países con ingresos bajos-medios y el mayor número se produjo en regiones del Pacífico Occidental y el Sudeste Asiático (OMS, 2014)⁵. La OMS estima que un 80% de las defunciones prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior se deben a cardiopatía isquémica (enfermedad ocasionada por la arteriosclerosis de las arterias coronarias, impidiendo que el corazón reciba la sangre necesaria) y accidente cerebrovascular, mientras que un 14% de los casos se deben a neumopatía obstructiva crónica o infección aguda de las vías respiratorias inferiores, y un 6% a cáncer de pulmón (OMS, 2014)⁵. En las *Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire* se estima que una reducción media anual de las concentraciones de partículas (PM₁₀) de 70 microgramos/m³, común en muchas ciudades en desarrollo, a 20 microgramos/m³, permitiría reducir el número de defunciones relacionadas con la contaminación en aproximadamente un 15%. Dicha disminución en los niveles de contaminación atmosférica, provocaría una disminución de la mortalidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre las que se encuentra el asma. Cuanto más bajos sean los niveles de contaminación, mejor será la salud cardiovascular y pulmonar de la población tanto a corto como a largo plazo.

Cabe poner de manifiesto que los aspectos relacionados con la salud humana no siempre reciben la atención que merecen en los procedimientos legales cuya finalidad es la evaluación ambiental de planes, programas, proyectos o actividades, donde se da prioridad a los impactos que las intervenciones del hombre producen en el medio natural. Por esta razón, la Sociedad Española de Sanidad Ambiental (SESA), ha

elaborado una guía titulada *La Salud en la Evaluación de Impactos Ambientales*. Dicha guía se compone de 4 documentos, el primero de ellos denominado *Guía Metodológica para la Detección y Valoración de Riesgos para la Salud en las Evaluaciones Ambientales de Planes, Programas, Proyectos y Actividades*, pretende contribuir al establecimiento de los criterios básicos de salud que deben considerarse en los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos (EIA), Evaluación Ambiental Estratégica de Planes y Programas (EAE) y Autorización Ambiental Integrada (AAI). El objetivo principal de esta guía es desarrollar un método para la identificación y valoración de los impactos en el medio ambiente que pueden tener efectos sobre la salud de las personas, con el fin de informar en los citados procedimientos de evaluación ambiental de planes, programas, proyectos y actividades.

En lo que se refiere al aire ambiente, los aspectos que han de figurar en los estudios de impacto ambiental o en los informes de sostenibilidad ambiental o en cualquier documento de los utilizados en los procedimientos administrativos cuya finalidad es realizar la evaluación ambiental, son los siguientes:

1. Principales fuentes de contaminación atmosférica: puntuales, difusas, fijas, móviles, emisiones fugitivas, etc.
2. Composición, tipo y volumen de las emisiones potenciales previstas: SO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2,5}, metales pesados, compuestos orgánicos volátiles, dioxinas, furanos, etc.
3. Descripción del modelo de dispersión de contaminantes empleado:
 - a).Descripción de las entradas del modelo: periodo de datos, variables meteorológicas y origen de esa información, datos del terreno.
 - b).Opciones del modelo elegidas: dispersión rural o urbana, etc.
 - c).Puntos de referencia elegidos (receptores discretos): ubicación respecto a la fuente o fuentes y respecto a la población. Tamaño de la malla utilizada, etc.
4. Existencia de otras fuentes de emisión a la atmósfera que puedan suponer un efecto aditivo.
5. Estimación de los niveles de inmisión futuros en función de la implantación y puesta en marcha de la actividad, plan o programa y comparación con los niveles de inmisión actuales.
6. Especificación de la inclusión de otras fuentes de emisión en dichas estimaciones.

7. Comparación de las estimaciones con la normativa de calidad del aire ambiente.
8. Identificación y estimación del impacto en salud de la contaminación del aire ambiente provocada por la propuesta.
9. Medidas correctoras y de minimización de las emisiones previstas teniendo en cuenta las mejores técnicas disponibles: utilización de filtros, altura de chimeneas, utilización de combustible de bajo contenido en azufre, etc.
10. Programa de vigilancia ambiental respecto a este tipo de emisiones: autocontrol con medidas de inmisión reales por el volumen de lo proyectado (conforme a la normativa vigente); especificaciones, en su caso, de las mediciones, métodos y frecuencia de calibración y mantenimiento de equipos; análisis y controles de la contaminación producida; protocolos de comunicación y actuación entre las administraciones competentes.

En este mismo sentido, pero a nivel autonómico, el Centro de recursos de Evaluación de Impacto en Salud (CREIS) impulsado por la Escuela Andaluza de Salud Pública define lo que se conoce como Evaluación del Impacto en Salud (EIS), al tratarse de una herramienta estratégica esencial para avanzar en la formulación de políticas, planes, programas y proyectos más saludables. Está basada en dos premisas claves, permite predecir los posibles impactos positivos y negativos de toda propuesta en consideración sobre la salud de una población e informar y mejorar la toma de decisiones aportando recomendaciones para optimizar los resultados en salud de dicha propuesta, con una especial consideración por los grupos más vulnerables.

A diferencia de la Evaluación de Impacto Ambiental, en ningún país existe una obligación normativa que obligue a realizar la EIS sobre políticas y programas de ámbito nacional. Por ello, la aplicación de la EIS responde fundamentalmente a las disposiciones recogidas en el marco de planes estratégicos y políticas nacionales de Salud / Salud Pública. Si bien las EIS son una herramienta cada vez más utilizada en países como Inglaterra o Suecia, entre otros; en España son muy recientes y apenas se han realizado algunas experiencias pioneras en el marco de proyectos de pilotaje promovidos fundamentalmente por las administraciones públicas y ninguno de ellos han sido llevados a cabo en la comunidad autónoma andaluza.

1.2 Definición de la contaminación atmosférica

El aire que respiramos contiene una serie de elementos líquidos y gaseosos entre los que destacan como principales agentes tóxicos los siguientes: partículas en suspensión (PM), óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y ozono. Existen evidencias científicas suficientes que indican que los contaminantes con mayor impacto en nuestra salud son las partículas en suspensión o material particulado (PM) y el ozono (O_3).

La calidad del aire a la que nos vemos sometidos diariamente depende esencialmente de dos factores claves: por un lado las cantidades de contaminantes emitidos a la atmósfera y por otro lado la distribución geográfica de las fuentes de emisión. La dispersión y el transporte de los distintos contaminantes emitidos a la atmósfera dependen en gran medida de los procesos físico-químicos que se producen en la misma, de la meteorología así como de la orografía del terreno. El aporte de dichos contaminantes puede provenir bien de fuentes naturales entre las que se encontrarían las erupciones volcánicas, actividades sísmicas y geotérmicas, incendios, aerosoles marinos, transporte de partículas procedentes de regiones áridas, entre otras. Por su parte el origen de estos contaminantes también puede ser antropogénico (derivadas de las actividades humanas), entre la que se encuentra la emisión de gases contaminantes por parte de industrias y tráfico rodado fundamentalmente.

También podemos clasificar los contaminantes en dos tipos:

-Contaminantes primarios → aquellos que se emiten directamente desde los distintos focos emisores, tales como los óxidos de azufre (SO_x), los óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), metales pesados (Hg, Cu, Pb, Zn...), ciertos halógenos así como sus derivados (Cl_2 , HF, HCl,...), hidrocarburos y partículas minerales (asbesto y amianto).

-Contaminantes secundarios → aquellos que se generan por reacciones químicas en la atmósfera a partir de contaminantes primarios. Algunos ejemplos son, ozono, sulfatos, nitratos, aldehídos, cetonas, peróxido de hidrógeno y radicales libres.

A continuación, se citan las características de los principales contaminantes:

OZONO

El ozono es una molécula altamente reactiva, formada por tres átomos de oxígeno. En la estratosfera (una de las capas superiores de la atmósfera), el ozono nos protege de la peligrosa radiación ultravioleta del sol. Sin embargo, en la capa inferior de la atmósfera (la troposfera), el ozono es de hecho un contaminante importante que afecta a la salud humana y a la naturaleza.

El ozono troposférico (cerca del suelo) se forma mediante complejas reacciones químicas entre gases precursores como óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles no metálicos. El metano y el monóxido de carbono también desempeñan un papel importante en la formación del ozono. Genera lo que se conoce como contaminación fotoquímica que es aquella que se genera por aparición de especies oxidantes en la atmósfera. Dichas especies, se originan al reaccionar entre si los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno en presencia de la radiación ultravioleta del sol. La formación de dichas especies se ve favorecida en condiciones de altas presiones (anticiclones) asociados a una fuerte insolación y vientos débiles que dificultan la dispersión y el transporte de contaminantes primarios.

El ozono puede tener un origen natural o antropogénico. Como fuentes naturales, pueden citarse las intrusiones de ozono presentes en la estratosfera, la formación en las descargas eléctricas de las tormentas, o ser emitido por la vegetación (robledales), los volcanes y los procesos de fermentación. En cuanto a las fuentes antropogénicas se refiere, son las que presentan mayores relevancias sobre todo aquellas que se generan como contaminante secundario, es decir producido a partir de otros contaminantes denominados precursores y en presencia de radiación solar. Son los NO_x y los COV (hidrocarburos principalmente) identificados a principios de la década de los 50 los precursores con mayor relevancia en la formación del O₃.

En concentraciones elevadas, el ozono corroe los materiales, los edificios y los tejidos vivos. Reduce la capacidad de las plantas para llevar a cabo la fotosíntesis y les impide absorber el dióxido de carbono. Así mismo, debilita la reproducción y el crecimiento de

las plantas, mermando las cosechas y el desarrollo de los bosques. En el cuerpo humano, provoca inflamación de los pulmones y los bronquios.

Una vez que el organismo se expone al ozono, aquel intenta impedir que penetre en los pulmones. Este reflejo provocará una reducción de la cantidad de oxígeno que inhala el organismo. Al inhalar menos oxígeno, el corazón tendrá que trabajar más intensamente. Así pues, los episodios de altas concentraciones de ozono pueden debilitar a las personas que ya sufren enfermedades cardiovasculares y respiratorias como el asma, pudiendo llegar a ser incluso mortales.

PARTICULAS EN SUSPENSION

El material particulado atmosférico engloba una gran variedad de compuestos que varían ampliamente tanto en sus características físico-químicas, como en su origen y vías de formación, y por tanto en sus efectos sobre la salud y el medio ambiente. Algunas de estas partículas son tan pequeñas (entre una treintava y una quinta parte del diámetro de un pelo humano) que no solamente penetran en nuestros pulmones, sino que también pueden llegar a pasar al torrente sanguíneo al igual que lo haría el oxígeno. Según el tamaño menor de 10 μm , menor de 2,5 μm , entre 10 y 0,25 μm o menor de 0,1 μm , las partículas se clasifican en PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{10-2,5} y ultrafinas (UFP) respectivamente. Las PM de mayor tamaño se depositan en la vía aérea superior mientras que las más pequeñas llegan hasta los alvéolos pudiendo incorporarse al torrente sanguíneo.

Mientras que algunas partículas son emitidas directamente a la atmósfera, otras son el resultado de reacciones químicas con gases precursores, como el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, el amoníaco y los compuestos orgánicos volátiles.

La normativa y los métodos de muestreo se centran en el tamaño de las partículas, ya que resulta ser el principal factor limitante para la mayor o menor penetración en las vías respiratorias. Por ello, las redes de control llevan a cabo la determinación de aquellas partículas de menos de 10 μm de diámetro, denominadas PM₁₀, que son las que presentan una mayor capacidad de acceso a las vías respiratorias y por lo tanto mayor afección a las mismas. Dentro de la fracción PM₁₀, las partículas más pequeñas

(menores de $2,5\ \mu\text{m}$, $\text{PM}_{2,5}$) se depositan en los alvéolos, la parte más profunda del sistema respiratorio, quedando atrapadas y pudiendo generar efectos más severos sobre la salud.

Así mismo, dependiendo de su tamaño, las partículas se comportan de manera distinta en la atmósfera: las más pequeñas se pueden mantener suspendidas durante largos periodos y viajar cientos de kilómetros mientras que las partículas más grandes no se sostienen en el aire mucho tiempo y tienden a depositarse más cerca de su lugar de origen.

En general, la parte gruesa de las PM_{10} se compone en buena medida de partículas primarias emitidas directamente a la atmósfera tanto por fenómenos naturales (incendios forestales o emisiones volcánicas) como por las actividades humanas (labores agrícolas o de construcción, resuspensión de polvo, actividades industriales, etc.). Las partículas finas o $\text{PM}_{2,5}$, por el contrario, suelen estar compuestas principalmente por partículas secundarias formadas en la atmósfera a partir de un precursor gaseoso (NO_x , SO_2 , COV, NH_3 , etc.) mediante procesos químicos o por reacciones en fase líquida.

OXIDOS DE NITROGENO

Los únicos óxidos de nitrógeno (NO_x) en la atmósfera e introducidos por el hombre son el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2).

El óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno del aire urbano se producen a través de dos procesos consecutivos. En primer lugar, las altas temperaturas alcanzadas en las combustiones provocan la combinación directa del oxígeno y el nitrógeno del aire para dar óxido nítrico (NO), y éste luego se oxida parcialmente a NO_2 . Por tanto, las instalaciones fijas de combustión, los vehículos de gasolina, y los motores diesel emiten óxidos de nitrógeno con proporciones variables de NO_2 y NO. Posteriormente, el NO introducido en la atmósfera urbana por las fuentes emisoras se oxida a NO_2 , principalmente por reacciones fotoquímicas.

La principal fuente emisora de óxidos de nitrógeno (NO_x) a la atmósfera urbana son los vehículos (especialmente los motores diesel) y en menor medida instalaciones de combustión como las calefacciones.

En lo que a la protección de la salud se refiere, el dióxido de nitrógeno (NO_2) es el único que tiene fijados valores límite para exposiciones de larga y corta duración. Sin embargo, la estrecha relación del monóxido de nitrógeno (NO) con el proceso de formación de NO_2 hace que también tenga su importancia en la evaluación y gestión de la calidad del aire.

Una exposición breve al NO_2 puede provocar irritación del sistema respiratorio y ocular. A largo plazo, los principales efectos pueden ser un desarrollo pulmonar más lento en los niños y la aparición de enfermedades respiratorias crónicas y cerebrovasculares.

Como se ha comentado en varias ocasiones, aunque toda la población esté expuesta a los contaminantes atmosféricos, no afectan igual a todo el mundo. Los niños, los ancianos y las personas con problemas de salud (como asma, enfermedades del corazón y pulmonares) pueden sufrir más efectos.

OXIDOS DE AZUFRE

Los óxidos de azufre (SO_x) son un grupo de gases compuestos por trióxido de azufre (SO_3) y dióxido de azufre (SO_2), aunque el más común es el SO_2 , ya que el SO_3 es solo un intermediario en la formación del ácido sulfúrico (H_2SO_4).

En conjunto, más de la mitad de las emisiones de óxidos de azufre que llegan a la atmósfera se producen por actividades humanas, sobre todo por la combustión de carbón, petróleo y por la industria metalúrgica, debido a que el azufre reacciona con el oxígeno en el proceso de combustión, formando SO_2 . En los procesos metalúrgicos, se liberan grandes cantidades de este gas debido a que se emplean frecuentemente los metales en forma de sulfuros.

En la naturaleza, el dióxido de azufre se encuentra sobre todo en las proximidades de los volcanes y las erupciones pudiendo llegar a liberar grandes cantidades de este gas.

El dióxido de azufre es un gas irritante y tóxico. Afecta sobre todo las mucosidades y los pulmones provocando ataques de tos, si bien éste es absorbido por el sistema

nasal. La exposición de altas concentraciones durante cortos períodos de tiempo puede irritar el tracto respiratorio, causar bronquitis, reacciones asmáticas, espasmos reflejos, parada respiratoria y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos.

Cuando el dióxido de azufre se combina con partículas ó con la humedad del aire se forma ácido sulfúrico, y produce lo que se conoce como lluvia ácida, provocando la destrucción de bosques, vida salvaje y la acidificación de las aguas superficiales y el suelo.

MONOXIDO DE CARBONO

Los óxidos de carbono son una familia de contaminantes, entre los que se encuentran como máximos representantes el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono, (CO₂). El monóxido de carbono se produce por la combustión incompleta de combustibles orgánicos, es decir, en una situación de falta de oxígeno que imposibilita la oxidación completa a CO₂. Los máximos productores son los automóviles y los procesos en los que intervienen las combustiones.

El monóxido de carbono es una sustancia altamente tóxica porque se combina con la hemoglobina de la sangre e impide el transporte de oxígeno a los tejidos, y por tanto la respiración, provocando lo que se conoce con el nombre de muerte dulce. Este tipo de contaminación por CO suele darse mayoritariamente en interiores.

A continuación se muestra una figura donde se indican las fuentes de los distintos contaminantes emitidos a la atmósfera:



Figura 1: Procedencia de los distintos contaminantes atmosféricos. Fuente: AEMA y elaboración propia.

1.3 El problema para la salud

La relación entre la contaminación atmosférica y la mortalidad por enfermedad cardiovascular y respiratoria han sido definidas en numerosos estudios en los últimos años. (Katsouyanni et al., 2001)⁶ dentro del proyecto *APHEA 2* que incluía datos de 29 ciudades europeas mostró que el aumento de PM dió lugar a un incremento del 1,97% y del 4.2% de fallecimientos por enfermedades cardiovasculares y respiratorias respectivamente. La edad avanzada, las enfermedades cardiorrespiratorias crónicas y el bajo nivel socioeconómico son factores de riesgo para una mayor mortalidad por causa cardiovascular y respiratoria asociada a la contaminación. En un estudio multicéntrico llevado a cabo en 14 ciudades españolas, encontraron que había asociación entre el grado de contaminación y el número de hospitalizaciones por problemas cardiovasculares (Ballester et al., 2006)⁷. En un estudio muy reciente se ha observado como la polución ambiental parece constituir un riesgo de desarrollo de bronquiolitis obliterante y de mortalidad tras el trasplante pulmonar (Nawrot, 2011)⁸. Se encontró la polución ambiental como un factor de riesgo de ictus potencialmente modificable (Maheswaran et al., 2006)⁹. Además el mismo autor en 2010 publicó un trabajo en el que se observaba como la supervivencia tras el ictus era menor en aquellas áreas donde la contaminación ambiental era mayor. En otro trabajo realizado para identificar las características de los grupos que podrían tener más riesgo de presentar problemas de salud en relación con PM, se obtuvo que los factores de riesgo identificados fueron: edades extremas (niños y ancianos), enfermedad cardiovascular o respiratoria previa, polimorfismos genéticos así como nivel socioeconómico bajo (Sacks et al., 2011)¹⁰.

La relación entre el grado de contaminación ambiental y enfermedad tromboembólica venosa (ETV), es decir la suma de trombosis venosa profunda (TVP) de miembros inferiores y su consecuencia más grave, la embolia de pulmón (EP), ha sido analizada en los últimos años. Así, se estudiaron los efectos de las PM en 871 pacientes diagnosticados de TVP y 1200 individuos sanos, concluyendo que el aumento de las mismas en el año anterior se asociaba a un aumento del riesgo de aparición de TVP (Bacarelli et al., 2008)¹¹. Los mismos autores investigaron posteriormente si existía alguna relación entre las zonas de mayor tráfico rodado de diversas poblaciones y la

presentación de TVP, encontrando que el riesgo de desarrollar la TVP era mayor en las personas residentes en los lugares más cercanos a dichas zonas. La principal limitación de este trabajo es que no discriminan a los pacientes con ETV previo, cáncer, cirugía o traumatismo reciente o que estuvieran bajo tratamiento hormonal, factores que por sí solos constituyen factores de riesgo para ETV. En un reciente trabajo se estudió la asociación entre contaminación y ETV desde la perspectiva del número de hospitalizaciones ocasionado por ello, midiendo para ello el grado de contaminación en varios puntos de distintas ciudades. El riesgo relativo de padecer TVP fue dos veces mayor que el de EP y este hecho destacaba especialmente en las personas mayores de 64 años. La ETV se presentó con más frecuencia durante las dos semanas posteriores al día con máximo grado de contaminación y los autores concluyeron que ésta suponía un aumento del riesgo de aparición de ETV (Dales et al., 2010)¹². Todos estos datos obtenidos previamente contrastan con los obtenidos en un trabajo publicado en 2011, donde no encuentran asociación entre la exposición a PM y el desarrollo de ETV. La limitación del trabajo a la hora de extrapolar los resultados es que la población de este estudio la constituyen únicamente mujeres post-menopáusicas expuestas a tratamiento con estrógenos.

Varios estudios europeos, han revelado que la mortalidad diaria aumenta un 0,3% y las enfermedades de índole cardiovascular un 0,4% por cada 10mg/m³ de aumento en la exposición al ozono (OMS, 2014)⁵. Una reducción de 50µg/m³ da lugar a una reducción del 4% de las urgencias por enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y asma ($p < 0,05$) (Tobías et al., 1998)¹³. Los autores de un estudio señalan que el riesgo relativo asociado a un incremento de 10µg/m³ de PM_{2,5} fue de 1,03 (intervalo de confianza [IC95%]: 1,00-1,05) para el grupo de niños menores de 10 años y de 1,03 (IC95%]: 1,00-1,06) para niños menores de un año. Los riesgos atribuibles fueron del 2,7 y el 2,8%, respectivamente (Linares et al., 2009)²⁷. Se demostró que la exposición a largo plazo a la contaminación atmosférica por partículas finas se asocia con la incidencia de enfermedad cardiovascular y muerte entre las mujeres postmenopáusicas (Miller et al., 2007)¹⁴.

Un reciente estudio de la OMS muestra que la contaminación por partículas en suspensión (PM_{2,5} es decir, partículas que no superan las 2,5 micras de diámetro)

puede provocar más problemas para la salud de lo que se creía. Según el estudio de la OMS titulado 'Review of evidence on health aspects of air pollution'¹⁵ ('Examen de las pruebas sobre los aspectos sanitarios de la contaminación atmosférica'), la exposición a largo plazo a las partículas puede provocar arterosclerosis, efectos adversos en los partos y enfermedades respiratorias en la infancia. El estudio indica también una posible relación con el neurodesarrollo, la función cognitiva y la diabetes, y refuerza el vínculo causal entre las PM_{2,5} y las muertes relacionadas con problemas cardiovasculares y respiratorios.

Los estudios epidemiológicos apuntan que la exposición a ozono está asociada con una exacerbación del asma, con un aumento del uso de medicamentos para combatir el mismo así como un incremento de ingresos hospitalarios (Dávila et al., 2007)¹⁶. La exposición a corta duración a una concentración punta de ozono puede afectar de forma temporal a los pulmones, el tracto respiratorio y los ojos. También puede aumentar la susceptibilidad a los alérgenos respiratorios. Una exposición prolongada a concentraciones de ozono relativamente bajas también puede provocar una disminución de la función pulmonar (Matute y González, 2011)¹⁷.

Como puede deducirse de estos estudios, desde hace años son bien conocidos los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud, sobre todo en enfermedades relacionadas con el aparato respiratorio y cardiovascular.

2. RED DE VIGILANCIA AMBIENTAL DE SEVILLA

'La contaminación es ya tan importante en muchas ciudades que es casi imposible ver las estrellas por la noche'

(Justine Lepaulard)

Siendo Sevilla la provincia en la que se centra nuestro estudio, cabe mencionar los dispositivos encargados de monitorizar la contaminación atmosférica. La Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, establece que la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Andalucía estará coordinada por la Consejería competente en materia de medio ambiente, así mismo dicha Red de Vigilancia quedará integrada en el marco del Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire ambiente.

La Red está integrada por todos los sistemas de evaluación de la calidad del aire instalados en el territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía, es decir el conjunto de medios susceptibles de ser utilizados para la determinación de la calidad del aire. Son sistemas de evaluación de la calidad del aire, entre otros, las estaciones de medida de la calidad del aire, fijas o móviles, los laboratorios de la calidad del aire y las técnicas de modelización y estimación objetivas. De este modo dentro de la Red de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire pueden distinguirse las siguientes subredes:

- Red Automática de Calidad del Aire→ compuesta por una serie de estaciones de medida de la calidad del aire.

- Red Automática de Emisiones a la Atmósfera → constituida por una serie de sensores de medida localizados en distintos focos dentro de distintas instalaciones industriales.

- Red de captadores manuales→ compuesta en su mayoría por captadores gravimétricos de partículas.

Para conocer la calidad del aire, la provincia de Sevilla cuenta con una red de vigilancia ambiental, formada por un total de 12 estaciones remotas, las cuales poseen una serie de sensores para medir niveles de inmisión de aquellos contaminantes que la legislación está obligada a vigilar, así como distintos parámetros meteorológicos repartidas por todo su territorio. Sevilla capital cuenta con 7 estaciones o cabinas cuya ubicación se ha efectuado según la legislación vigente la cual establece tanto los valores límites permitidos así como el número de puntos de muestreo necesarios. Teniendo en cuenta este hecho, dos de las cabinas están orientadas a medir niveles de

inmisión debido a tráfico rodado, en zonas cercanas a vías con tráfico rodado intenso. Otras dos de las cabinas están orientadas a medir niveles de fondo, en lugares más alejados de focos potencialmente contaminantes. Y las dos últimas están situadas en la periferia de la ciudad con el objetivo de medir los valores de ozono troposférico.

En cuanto a la ubicación de las cabinas dentro de la ciudad se lleva a cabo en lugares estratégicos para cubrir todas las zonas. En concreto, una de ellas se encuentra en el casco histórico, otra en la barriada de Los Remedios (Zona Oeste), otras dos en la periferia (Zonas Norte y Sur de la ciudad) y las que restan se sitúan en Rondas interiores de circulación.

Las cabinas situadas en la ciudad de Sevilla son: Bermejales, Centro, Príncipes, Ranilla, San Jerónimo, Santa Clara y Torneo. Las estaciones de Alcalá de Guadaira, Dos Hermanas, Cobre las Cruces, Aljarafe y Sierra Norte se encuentra en los municipios de Alcalá de Guadaira, Dos Hermanas, Guillena, Mairena del Aljarafe y San Nicolás del Puerto respectivamente.

Con esta red de vigilancia además de conocer en tiempo real la calidad del aire en las distintas zonas de la provincia de Sevilla, conocemos los niveles de inmisión, de fondo y de tráfico rodado.

A continuación, se muestra una lista con los distintos contaminantes monitorizados:

- Partículas en suspensión (PM10) → formadas por aquellas partículas con un diámetro inferior a 10 micras, debido a su pequeño tamaño son susceptibles de ser inhaladas, pudiendo depositarse en las vías respiratorias.
- Partículas en suspensión (PM2,5) → formadas por aquellas partículas con un diámetro inferior a 2,5 micras. Dichas partículas al tener un tamaño aun más pequeño tienen mayor posibilidad de depositarse en las vías respiratorias inferiores.
- Dióxido de azufre (SO₂) → gas incoloro generado en procesos de combustión.
- Monóxido de carbono (CO) → gas inodoro e incoloro, generado fundamentalmente en procesos de combustión de vehículos.
- Óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) → gas de color rojizo, proveniente de procesos de combustión y que en contacto con la luz solar pueden ser precursores en la formación de ozono.

-Ozono (O_3) → generado en procesos fotoquímicos producidos por acción de la luz solar. Posee efectos perniciosos sobre la visión así como sobre el aparato circulatorio y respiratorio.

-Parámetros meteorológicos → se monitorizan la velocidad del viento así como la dirección del mismo, presión, temperatura, radiación, precipitación...

La presencia de contaminantes en el aire y su dispersión se encuentra estrechamente relacionada con las condiciones meteorológicas, dependiendo de estas la existencia de mayores o menores concentraciones. Sevilla capital, se encuentra localizada en el Valle del Guadalquivir, presentando un clima templado mediterráneo, donde los inviernos son suaves y las temperaturas máximas se concentran en el periodo estival. La insolación supera las 2898 horas anuales, con vientos dominantes provenientes del Suroeste. La existencia de un elevado nivel de radiación solar sobre todo en periodo estival, hace que se alcancen en algunas ocasiones elevados niveles de O_3 , pudiendo superar los máximos admisibles, sobre todo en los meses de mayo a septiembre.

En otro orden de cosas, la inexistencia tanto en la ciudad de Sevilla como en sus proximidades de grandes industrias potencialmente generadoras de emisiones contaminantes ocasiona que la fuente principal de emisiones sea el tráfico rodado.

3. LEGISLACIÓN APLICABLE

‘La contaminación del aire causa daños a la salud del ser humano y a los ecosistemas’

(Hans Bruyninckx)

La normativa relativa a la calidad del aire, se encuentra enmarcada en tres niveles: europeo, estatal y autonómico.

Si nos referimos, a la normativa a nivel europeo en vigor se encuentra la Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de diciembre de 2004 relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente. Y la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europea (que ha sustituido a las Directivas 96/62/CE, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente, Directiva 1999/30/CE, relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente, la Directiva 2000/69/CE, sobre los valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente, y la Directiva 2002/3/CE, relativa al ozono en el aire ambiente y a la Decisión 97/101/CE, por la que se establece un intercambio recíproco de información y datos de las redes y estaciones aisladas de medición de la contaminación atmosférica en los Estados Miembros.

Por su parte, la normativa sobre calidad del aire que actualmente se encuentra en vigor en España es, a nivel estatal la Ley 34/2007 de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. El Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire ambiente, (que ha derogado los Reales Decretos, 1073/2002 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono; Real Decreto 1796/2003, relativo al ozono en el aire ambiente; y Real Decreto 812/2007 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos).

Las tablas que se exponen a continuación muestran los valores límites para cada uno de los contaminantes según el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire ambiente. Los valores aquí fijados no son más que una transposición al ordenamiento jurídico español de los valores especificados en la

Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.

1) Valor límite de dióxido de azufre para la protección de la salud.

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor</i>
Valor límite horario	1 hora	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que no podrá superarse en más de 24 ocasiones por año civil
Valor límite diario	24 horas	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil.

Tabla 1: Valor límite de dióxido de azufre para la protección de la salud. *Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.*

1.1) Umbral de alerta de dióxido de azufre.

El valor correspondiente al umbral de alerta del dióxido de azufre se sitúa en **500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Se considerará superado cuando durante tres horas consecutivas se exceda dicho valor cada hora, en lugares representativos de la calidad del aire en un área de, como mínimo, 100 km² o en una zona o aglomeración entera, tomando la superficie que sea menor.

2) Valor límite del dióxido de nitrógeno para la protección de la salud.

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor</i>
Valor límite horario	1 hora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO ₂ que no podrán superarse en más de 18 ocasiones por año civil.
Valor límite diario	1 año civil	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO ₂

Tabla 2: Valor límite de dióxido de nitrógeno para la protección de la salud. *Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.*

2.1) Umbral de alerta de dióxido de nitrógeno.

El valor correspondiente al umbral de alerta del dióxido de nitrógeno se sitúa en **400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Se considerará superado cuando durante tres horas consecutivas se exceda dicho valor cada hora en lugares representativos de la calidad del aire en un área de,

como mínimo, 100 km² o en una zona o aglomeración entera, tomando la superficie que sea menor.

3) Valores límite de material particulado 10 en condiciones ambientales para la protección de la salud.

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor</i>
Valor límite diario	24 horas	50 µg/m³ , que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año
Valor límite anual	1 año civil	40 µg/m³

Tabla 3: Valor límite de PM10 para la protección de la salud. *Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.*

4) Valores objetivo y límite de material particulado 2,5 en condiciones ambientales para la protección de la salud.

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor</i>
Valor objetivo anual	1 año civil	25 µg/m³ , que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año
Valor límite anual (fase I)	1 año civil	25 µg/m³
Valor límite anual (fase II)	1 año civil	20 µg/m³

Tabla 4: Valor objetivo y límite de PM 2,5 para la protección de la salud. *Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.*

5) Valor límite del monóxido de carbono para la protección de la salud.

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor límite</i>
Valor límite	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	10 mg/m³

Tabla 5: Valor límite de monóxido de carbono para la protección de la salud. *Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.*

6) Valores objetivo y objetivos a largo plazo para el ozono

<i>Objetivo</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Valor objetivo para la protección de la salud humana	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	120 µg/m³ que no deberá superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un período de 3 años
Objetivo a largo plazo para la protección de la salud humana	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias en un año civil	120 µg/m³

Tabla 6: Valor objetivo y objetivo a largo plazo de ozono para la protección de la salud. *Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.*

6.1) Umbrales de información y de alerta para el ozono.

	<i>Parámetro</i>	<i>Umbral</i>
Umbral de información	Promedio horario	180 µg/m³
Umbral de alerta	Promedio horario	240 µg/m³

Tabla 7: Umbral de información y alerta de ozono para la protección de la salud. *Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.*

A nivel de la comunidad autónoma de Andalucía, la legislación aplicable es la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental. También hay una serie de Planes de Mejora de Calidad del Aire para diversas zonas de Andalucía, en ejercicio de las previsiones tanto de normas estatales como autonómicas. Estos Planes han sido aprobados por Decreto 231/2013, de 3 de diciembre, por el que se aprueban planes de mejora de la calidad del aire en determinadas zonas de Andalucía.

4. CONTEXTO DE LA INVESTIGACION Y OBJETIVOS

‘No puedo sino asombrarme de cómo se va perdiendo el esplendor del medio ambiente debido a la contaminación, especialmente la contaminación atmosférica’

(Stephen Mynhardt)

4.1 Estudios previos

Numerosos estudios y planes sientan las bases de nuestro trabajo. Destacar uno que se ha realizado recientemente, en el que se intenta demostrar mediante la utilización de una metodología concreta la cual se especifica a continuación la relación temporal entre los picos de incidencia de episodios de embolia de pulmón (EP) con los picos de incidencia de mayor contaminación medioambiental.

Se trata de un estudio prospectivo, multicéntrico de pacientes diagnosticados de embolia de pulmón (EP) aguda sintomática idiopática o no provocada (los términos idiopático y no provocado hacen referencia al origen desconocido de la enfermedad). El estudio tiene lugar desde febrero de 2012 hasta enero de 2013, con pacientes diagnosticados de embolia de pulmón aguda sintomática no provocada o idiopática procedentes de Sevilla capital así como de su área metropolitana.

Se analizaron una serie de variables demográficas, clínicas, domicilio del paciente, datos meteorológicos y de contaminantes medioambientales (datos de inmisión de PM10, SO₂, CO, NO₂, O₃). Teniendo en cuenta el número de días que el paciente presentó síntomas, marcamos el periodo de estudio en los 30 días previos. Así mismo calculamos los datos medios anuales (Valor anual: VA) de la estación de referencia, y los mismos datos del periodo de estudio (30 días) pero de las fechas correspondientes a los 3 años anteriores, obteniéndose para cada uno de ellos la media mensual de los distintos contaminantes (Valor mensual: VM). En cuanto a las estaciones de referencia, se tomaron aquellas que atendiesen a dos criterios de calidad previamente establecidos, se tendrán en cuenta aquellas estaciones que por un lado se encontrasen a una distancia máxima de 6 Km del domicilio del paciente y por otro lado que dichas estaciones se encontrasen en la dirección de los vientos dominantes.

En cuanto al análisis estadístico, se compararon en términos absolutos cada uno de los contaminantes en el tiempo con dos pruebas no paramétricas, por un lado con la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon (compara la mediana de dos muestras relacionadas y determina si existen diferencias entre ellas) y por otro lado con la prueba de Friedman (extensión de la prueba de Wilcoxon pero para el caso de más de

dos muestras). Para el análisis de la VA y VM de cada uno de los contaminantes consideramos como significativos aquellos en los que el valor del periodo de estudio superó la media anual o mensual respectivamente.

Si nos centramos en los resultados, durante el periodo de estudio hubo 418 EP, 169 de los cuales (40,4%) presentaron EP aguda sintomática no provocada. El 57% fueron varones y la edad media de los pacientes fue de 66,7. Se analizaron los contaminantes en 10 estaciones remotas, de tal forma que en 73 pacientes (43%) no pudo realizarse la determinación atendiendo a los criterios de calidad que anteriormente hemos detallado. Cuando se analizaron los contaminantes mediante la utilización de las dos pruebas no paramétricas comentadas anteriormente, se encontró una asociación estadísticamente significativa entre NO_2 y EP ($p < 0,001$) y una tendencia a la significación estadística entre CO y EP ($p = 0,066$). El número de pacientes con VA o VM significativas, es decir el número de casos en los que el periodo de estudio superó al valor anual (VA) y al valor mensual (VM) fue de 33 lo que representa un 34%, mostrando el 69%, al menos dos de ellas.

Como conclusión final, se encontró una asociación estadísticamente significativa entre los valores absolutos de NO_2 y EP aguda sintomática. Así mismo en el 34% de los pacientes analizados obtenemos variaciones del valor anual y/o mensual (Romero E. M. y Jara L.).

Otro estudio de enorme relevancia para contextualizar nuestro proyecto fue la publicación a finales del año 2014 del mayor mapa del cáncer realizado en España hasta la fecha. Ha sido elaborado por investigadores del Centro Nacional de Epidemiología, utilizando datos de un millón de muertes por cáncer registradas en nuestro país entre 1989 y 2008. La evolución se muestra por quinquenios, 1989-1993, 1994-1998, 1999-2003, 2004-2008. Estudia la mortalidad de los 6 principales tipos de cáncer (estómago, pulmón, vejiga, colon, próstata y mama) en las distintas regiones del territorio nacional.

El mapa confirma, por ejemplo, que el riesgo de morir por cáncer de estómago es mucho mayor en áreas de Castilla y León, especialmente en provincias como Burgos y

Palencia, que en el resto de España. Según sus autores, este exceso de mortalidad puede ser atribuido a las costumbres alimentarias en estas zonas rurales, al consumirse más alimentos curados o ahumados y menos frutas y verduras que en regiones costeras por ejemplo, aunque los mismos autores no descartan otras posibles causas medioambientales. Se estima que durante el periodo de estudio en España se produjeron casi 145000 muertes por este tipo de cáncer.

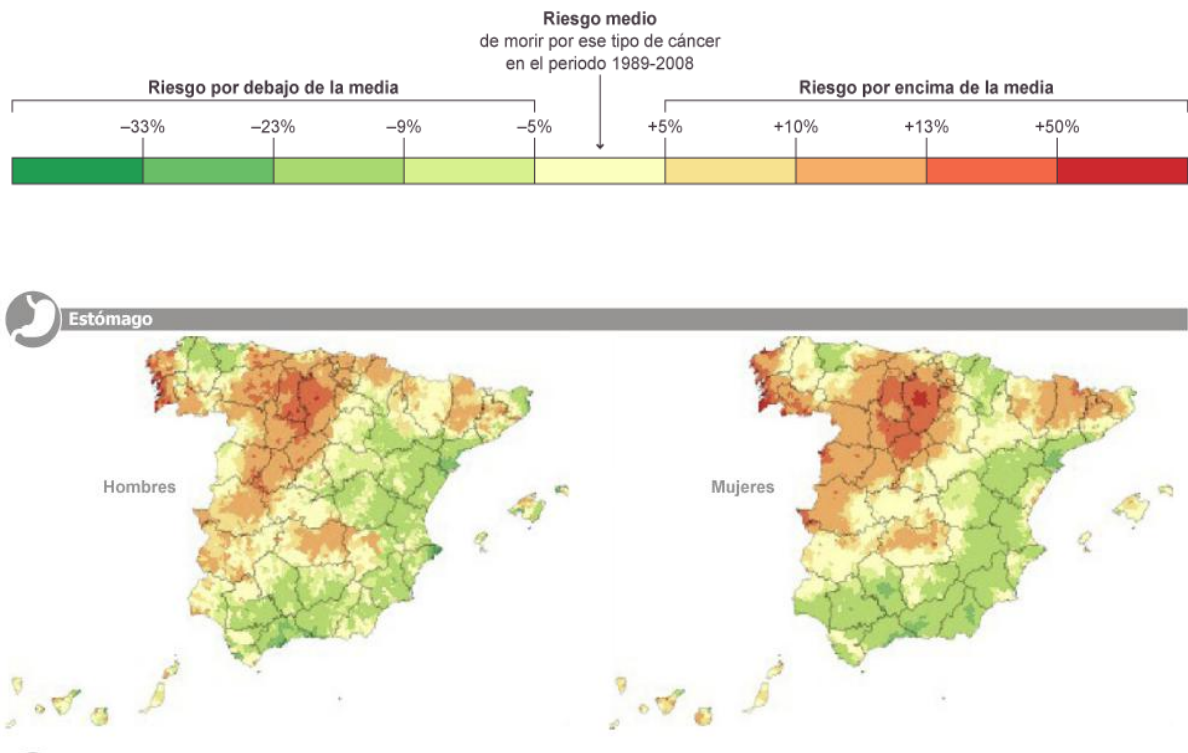


Figura 2: Mortalidad por cáncer de estómago en las distintas regiones españolas en hombres y mujeres respectivamente. *Fuente: BMC Cáncer.*

También se exponen las víctimas generadas por cáncer de pulmón, más de 340000 en el periodo de estudio. Las zonas del territorio español con mayor riesgo de mortalidad en los hombres se hallan en las provincias de Extremadura, Andalucía occidental (Huelva, Sevilla y Cádiz), Asturias y Cantabria. Por su parte, en el caso de las mujeres los mayores riesgos se encuentran en algunos municipios de Pontevedra y Ourense.

Aunque en un primer momento la distribución del cáncer de pulmón se relaciona con el número de fumadores, son cada vez más los investigadores que apuntan también a la contaminación atmosférica como responsable del aumento de muertes por este tipo

de cáncer. El atlas desvela que, en los últimos cinco años estudiados, el elevado riesgo de morir por cáncer de pulmón en las mujeres se ha centrado en las ciudades, según los autores de este estudio se debe a la sinergia entre la contaminación del aire y fumar. Y, en el caso de los municipios gallegos, los científicos señalan al radón, un gas radiactivo originado de manera natural a partir del uranio contenido en el subsuelo.

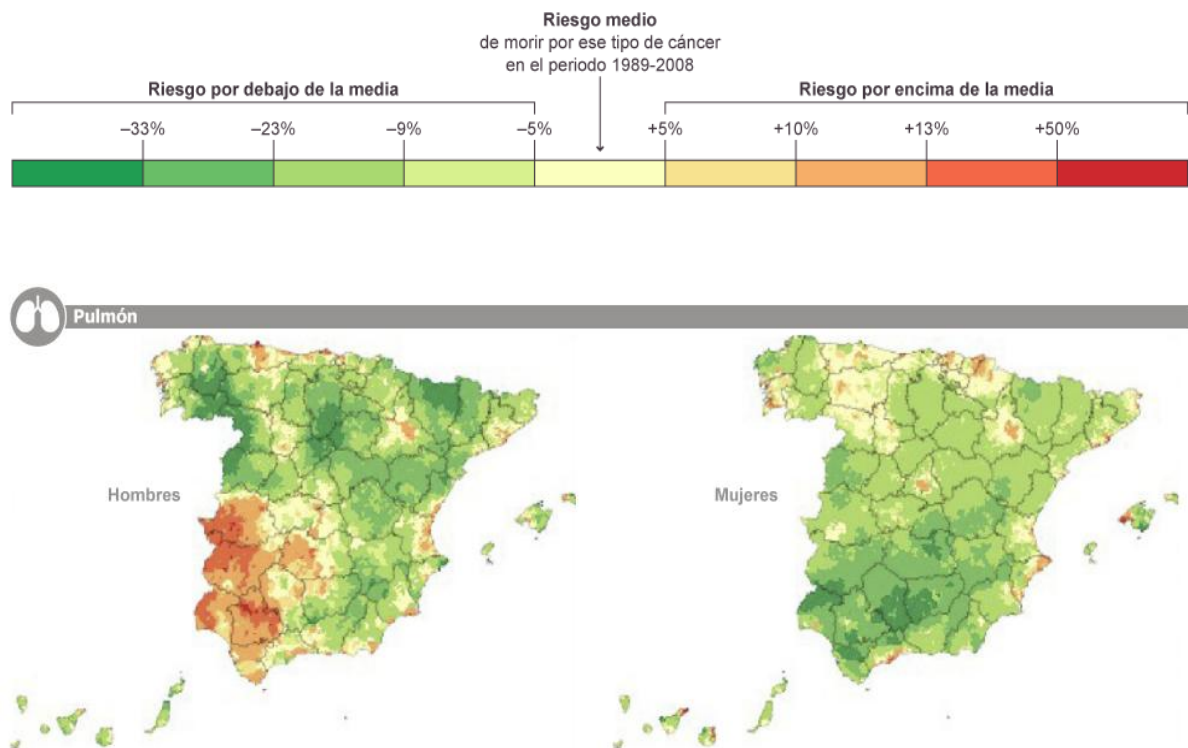


Figura 3: Mortalidad por cáncer de pulmón en las distintas regiones españolas en hombres y mujeres respectivamente. *Fuente: BMC Cáncer.*

Según la Asociación Española contra el Cáncer (AECC)¹⁹ el cáncer de pulmón es el más frecuente del mundo, registrándose aproximadamente 1400000 nuevos casos al año. Representa el 16,6% de todos los tumores entre los hombres (965000 casos) y el 7,6% entre las mujeres (387000 casos). Las mayores incidencias se observan en Europa sobre todo en el Este y en el Sur del continente y en Norteamérica. En mujeres, las incidencias más elevadas dentro de Europa se registran en los países del Norte.

La relación entre sexos es de 2,5 hombres por cada mujer en el mundo, 3,6 en Europa, y 9 en España (es decir, por cada 9 pacientes con cáncer de pulmón del sexo masculino, hay una del sexo femenino). Este hecho refleja la baja incidencia del cáncer

de pulmón entre las mujeres de nuestro país (probablemente porque se incorporaron más tarde al hábito de fumar).

En España se diagnostican unos 20000 casos anuales, lo que representa el 18,4% de los tumores entre los hombres (18000 casos) y el 3,2% entre las mujeres (2000 casos).

La incidencia en España, comparada con el resto del mundo, se puede considerar alta para el sexo masculino (tasa ajustada mundial en 2002: 55,8), sólo superada por los países de Europa del Este y Norteamérica. Su tendencia tiende a estabilizarse desde mediados de los años 90, e incluso desciende desde el año 2000. Sin embargo, en el sexo femenino la incidencia es de las más bajas del mundo (tasa ajustada mundial en 2002: 5,4), aunque desde la mitad de los años 90, es de las que más rápidamente está aumentando, no sólo en Europa, sino en el mundo (a un ritmo estimado del 2,4% anual).

La mayoría de los casos se diagnostican entre los 55 y los 75 años, con un máximo entre los 65 y los 70, aunque se registran casos desde los 35-40 años.

El factor etiológico fundamental para padecer un cáncer de pulmón es el tabaco, de manera que se ha observado claramente una tendencia descendente en la incidencia (y en la mortalidad) en aquellos países en los que ha disminuido el número de fumadores.

Si bien, el tabaquismo es una de las causas principales en el desarrollo del cáncer de pulmón, no hay que olvidar a la contaminación atmosférica como origen en un buen número de casos.

Por ejemplo, se estima que la exposición al radón en interiores causó entre el 3% y el 14% de todos los cánceres de pulmón en 2004, lo que hace de ese factor la segunda causa más importante de cáncer de pulmón en muchos países (OMS, 2011)¹⁸.

Si nos referimos a la contaminación del aire, causó 165000 muertes por cáncer de pulmón a nivel mundial en 2004. De ellas, 108000 fueron causadas por la contaminación del aire exterior, 36000 se debieron a los combustibles sólidos utilizados para cocinar y calentarse, mientras que 21000 se debieron al tabaquismo pasivo (OMS, 2011)¹⁸.

Una evaluación realizada en el año 2011 por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer de la OMS¹⁸ determinó que la contaminación del aire exterior es carcinógena para el ser humano, y que las partículas del aire contaminado están estrechamente relacionadas con la creciente incidencia del cáncer, especialmente el cáncer de pulmón. También se ha observado una relación entre la contaminación del aire exterior y el aumento del cáncer de vías urinarias y vejiga.

Según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer²⁰ (IARC de sus siglas en inglés) la exposición a partículas finas contribuyó a 3,2 millones de muertes prematuras en 2010 en todo el mundo, de ellas 223000 fueron provocadas por cáncer de pulmón. Más de la mitad de las muertes atribuibles a cáncer de pulmón se produjeron en China y otros países de Asia oriental.

Como puede verse desde hace años, los expertos analizan el papel que juega la contaminación atmosférica en el riesgo de padecer cáncer de pulmón, especialmente el de adenocarcinoma, el único de los cuatro principales subtipos histológicos de cáncer de pulmón que también se desarrolla en un número sustancial de no fumadores.

Un estudio realizado por un equipo multicéntrico coordinado por la universidad de Nueva York, ha valorado el impacto de micropartículas en un gran número de ciudades en Estados Unidos analizándose los datos de al menos 500000 personas entre 1982 y 1998 que participaron en un estudio sobre el cáncer. Se calculó que el número de muertes por cáncer de pulmón aumenta un 8% por cada 10 microgramos/m³ de micropartículas. Las partículas de mayor tamaño y la polución gaseosa no se asociaban a un mayor número de muertes. Parece que el aumento del riesgo de cáncer de pulmón producido por la contaminación es claramente menor que el riesgo asociado con el tabaquismo activo. Sin embargo, se ha visto que el riesgo de morir a consecuencia de un cáncer de pulmón en las ciudades con un índice elevado de contaminación es similar al riesgo de los fumadores pasivos (Arden Pope, et.al, 2002)²¹.

Así pues, los hallazgos de este estudio proporcionan una gran evidencia sobre la relación existente entre la exposición prolongada a micropartículas contaminantes en las áreas metropolitanas y un importante riesgo de mortalidad pulmonar.

Mediante datos del estudio europeo de cohortes sobre los efectos de la contaminación del aire (ESCAPE-European Study of Cohorts for Air Pollution Effects), coordinado por la Universidad de Utrecht en los Países Bajos, un equipo de investigadores ha realizado un metaanálisis de 17 estudios de cohortes en nueve países europeos, con casi 313000 personas. El nuevo estudio, publicado en *The Lancet Oncology*²², revela que 2095 de los participantes desarrollaron cáncer de pulmón durante los 13 años de seguimiento. Así, por cada aumento de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de contaminación de partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM_{2,5}), el riesgo de cáncer de pulmón aumentó en un 18%.

Además, los autores comprobaron que por cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la contaminación por partículas de diámetro inferior a 10 micras (PM₁₀) el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón aumentó un 22%, con efectos más fuertes en los adenocarcinomas.

Aunque los investigadores no observaron ninguna asociación entre el cáncer de pulmón y la concentración de óxidos de nitrógeno, confirmaron que este riesgo aumenta incluso a concentraciones de partículas por debajo del límite establecido por la legislación.

Para llegar a esta conclusión, la concentración de la contaminación del aire se calculó en domicilios mediante modelos de regresión de uso del suelo. Se realizó un seguimiento de los participantes diagnosticados con cáncer de pulmón en los registros nacionales y locales de cáncer, y los investigadores aplicaron modelos estadísticos para separar la influencia de los contaminantes atmosféricos de otros factores de enorme importancia en el desarrollo del cáncer de pulmón como el tabaquismo, la dieta, y el tipo de trabajo.

Según afirma Mark Nieuwenhuijsen, investigador responsable del programa de Contaminación Atmosférica del Centro de investigación en epidemiología ambiental (CREAL de sus siglas en catalán), de la alianza ISGlobal y colaborador en este estudio

‘La asociación entre la contaminación por partículas del aire y el riesgo de cáncer de pulmón persiste en concentraciones por debajo de los valores límite de calidad del aire de PM10 y PM2,5 de la Unión Europea. No hemos encontrado un umbral por debajo del cual no hay riesgo’.

Si nos referimos al cáncer de vejiga, fue culpable de más de 77000 muertes en España entre 1989 y 2008. El vicio de fumar está detrás del 50% de estos tumores, no obstante los investigadores apuntan también al riesgo que sufren los trabajadores de ciertos sectores como la fabricación de sustancias químicas tales como las aminas aromáticas, empleadas en la producción de colorantes. También aquellos trabajadores dedicados a la fabricación de pinturas, tintes, gomas, cuero y aluminio, así como los conductores de camiones, probablemente debido a la exposición de las emisiones de los motores diesel, tienen un elevado riesgo de sufrir este tipo de cáncer.

Si hacemos una distinción entre ambos sexos, veremos que los hombres sufren el 82% de las muertes por cáncer de vejiga que se producen en España. La mayor tasa de mortalidad aparece en municipios de las provincias de Cádiz, Sevilla y Huelva, esta última con su Polo Químico, y en la comarca del Bages, otra zona con industrias textiles y químicas situada en el interior de Cataluña. Sin embargo, los científicos afirman que la tasa de mortalidad en estas zonas está disminuyendo en los últimos años.

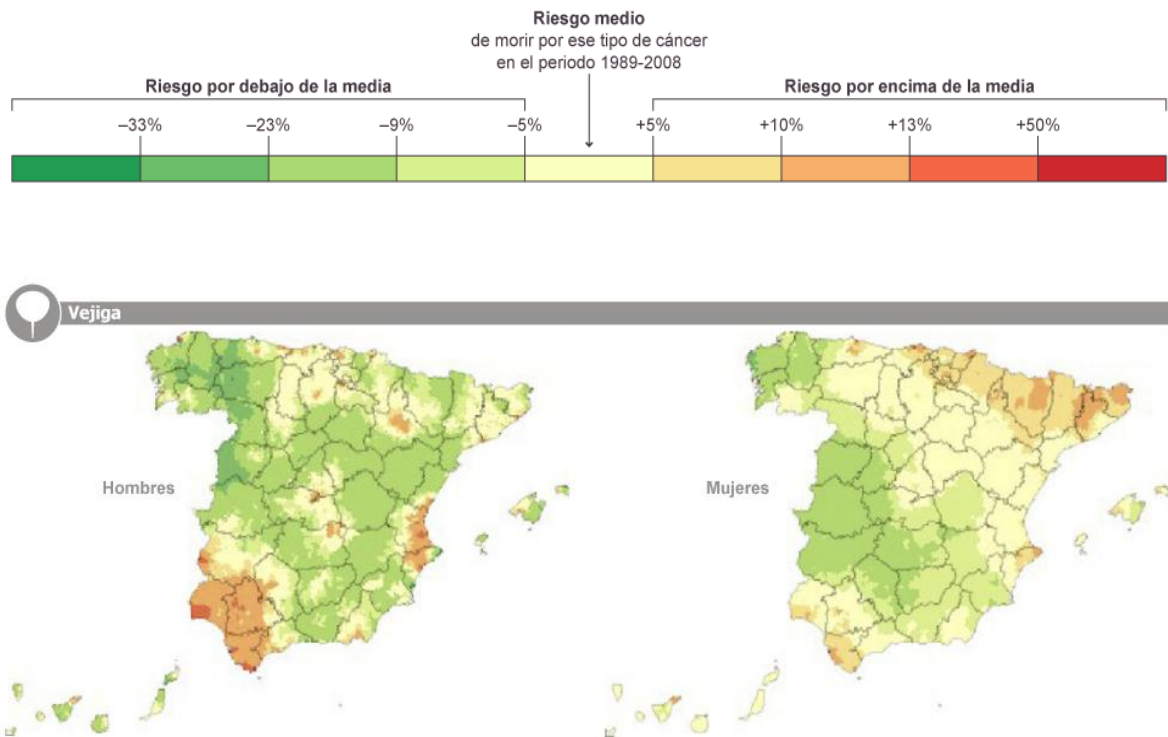


Figura 4: Mortalidad por cáncer de vejiga en las distintas regiones españolas en hombres y mujeres respectivamente. *Fuente: BMC Cáncer.*

El cáncer de colon provocó 224305 muertes en España durante el periodo 1989-2008 (123965 en hombres y 100340 en mujeres), que representan el 14,5% de todas las muertes por tumores malignos. Según los investigadores entre un 10-15% de los casos están producidos por factores hereditarios. Algunos de los factores de riesgo que pueden desencadenar este tipo de cáncer es un alto consumo de carne y grasas animales, así como una dieta pobre en fibra.

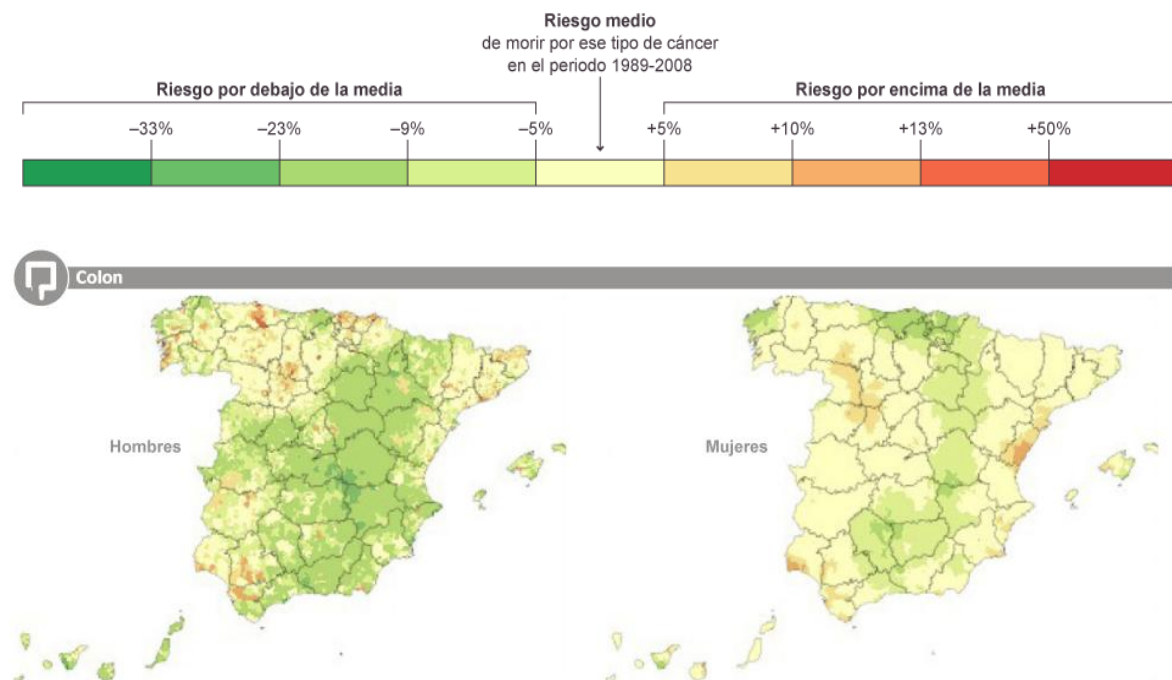


Figura 5: Mortalidad por cáncer de colon en las distintas regiones españolas en hombres y mujeres respectivamente. *Fuente: BMC Cáncer.*

La distribución de los 105000 fallecimientos de hombres por cáncer de próstata no muestra puntos alarmantes, aunque en los primeros 15 años se detectó una desigualdad entre el norte y el sur de España. Galicia era la región con más municipios con riesgos elevados, frente a Andalucía, que presentaba riesgos por debajo de la media. Los investigadores subrayan que la diabetes o el factor protector que ofrecen los antidiabéticos orales quizá puedan explicar la baja tasa mortalidad por cáncer de próstata observada en Andalucía, ya que en el periodo 1989-1998 esta región tenía una tasa de mortalidad relacionada con la diabetes más elevada que en el resto de España.

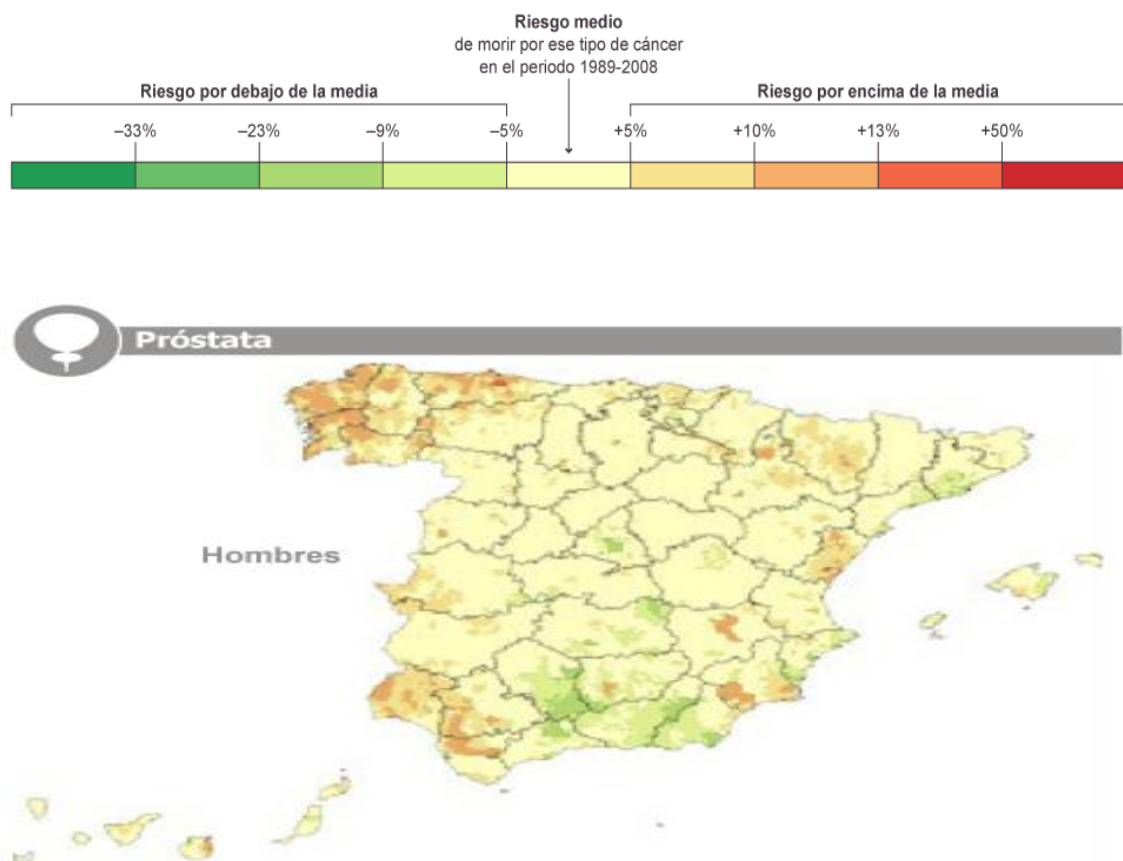


Figura 6: Mortalidad por cáncer de próstata en las distintas regiones españolas. *Fuente: BMC Cáncer.*

Al analizar las 115000 muertes por cáncer de mama entre las mujeres españolas en el periodo 1989-2008, se observa que en los 10 primeros años aparecían manchas rojas en Cataluña y Baleares, atenuándose recientemente y dejando paso a puntos calientes en pueblos de las provincias de Huelva, Sevilla y Cádiz, con un riesgo de morir por cáncer de mama un 10% mayor que en el resto de España. Los autores sugieren que se “monitoree” este presunto cambio de distribución espacial, aunque advierten de que el estudio de la mortalidad por tumores de mama ha perdido validez. Gracias a los programas de detección temprana y a los avances terapéuticos, la supervivencia de las mujeres a los cinco años de ser diagnosticadas supera el 80%. Lo ideal sería analizar la incidencia de la enfermedad, no la mortalidad, pero no existen registros detallados en España.

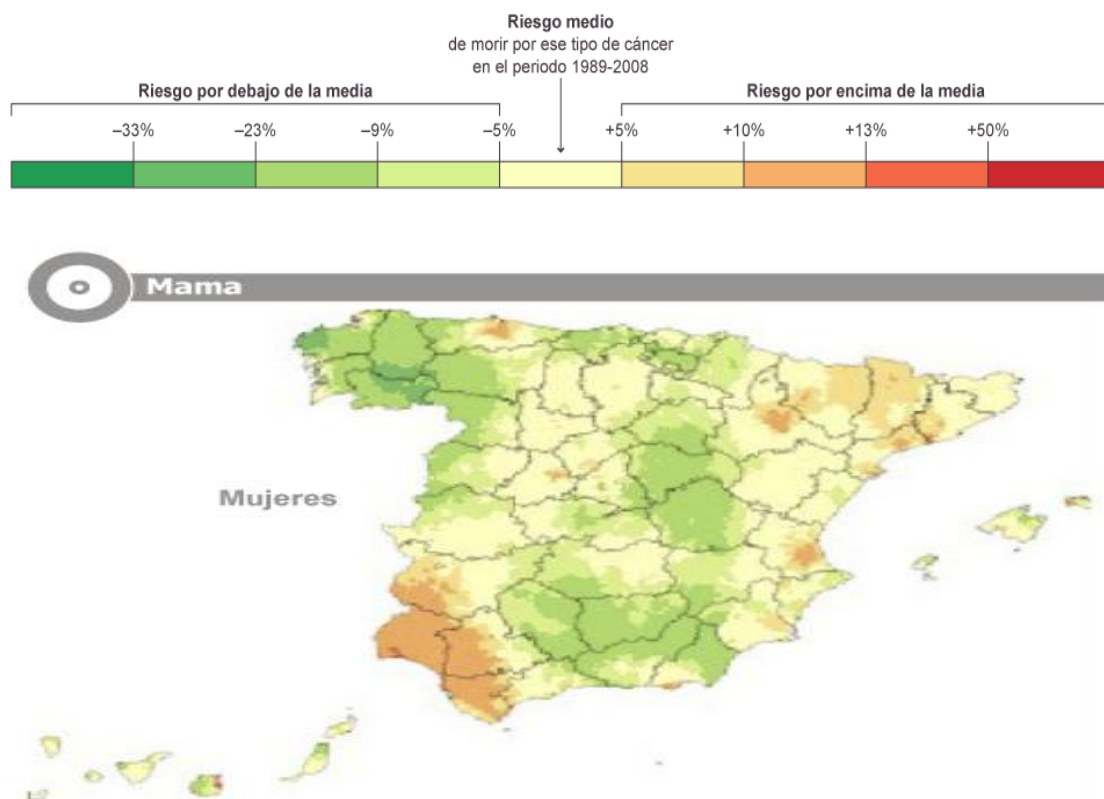


Figura 7: Mortalidad por cáncer de mama en las distintas regiones españolas. *Fuente: BMC Cáncer.*

En la siguiente gráfica se muestra el número total de fallecidos en España entre 2004 y 2008 por tipo de cáncer.

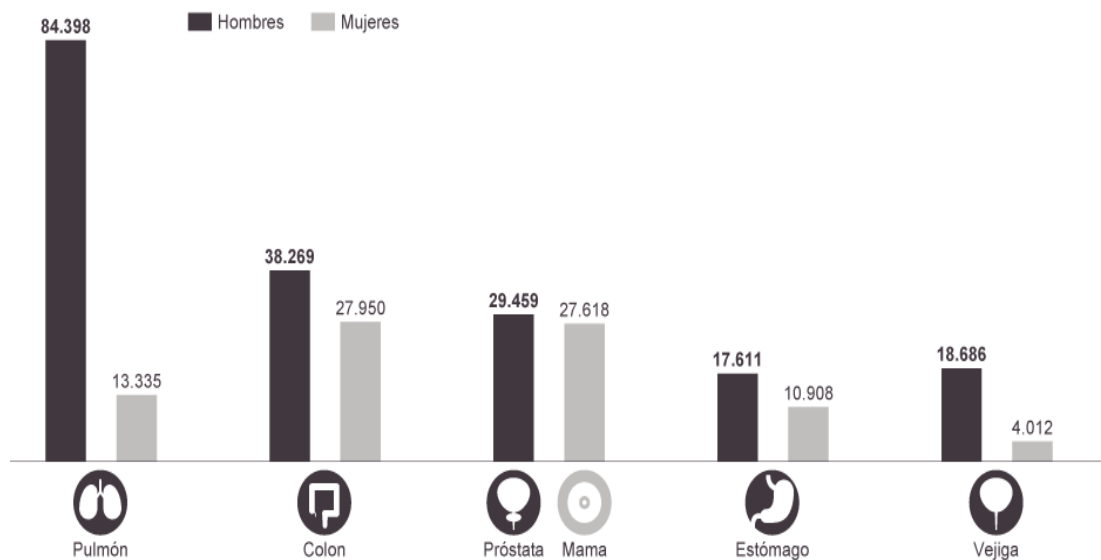


Figura 8: Número total de fallecidos en España entre 2004 y 2008 por tipo de cáncer. *Fuente: BMC Cáncer.*

Este atlas del cáncer en España, nos hace vislumbrar que muchos de los cánceres que mayor tasa de mortalidad generan son provocados en muchas ocasiones por la contaminación ambiental, como el de pulmón provocado no solo por el tabaquismo sino también por la polución y que podrían ser evitados en un buen número de casos, de hecho la Sociedad Española de Oncología Médica (SEOM) prevé que una de cada dos personas que nacen en la actualidad en España será diagnosticada de cáncer a lo largo de su vida.

4.2 Contexto

La realización de nuestro estudio queda encuadrado en los pilares que marca la Ingeniería Ambiental, al tratarse esta de una disciplina que persigue la obtención de destrezas y capacidades para la planificación, investigación, desarrollo, construcción, instalación y operación de equipos y sistemas para la medida y evaluación de la contaminación ambiental, conocimiento de los riesgos ambientales ligados a un determinado proyecto o actividad, mejora de las condiciones de seguridad industrial, gestión y tratamiento de efluentes, residuos y suelos contaminados y, en general, minimización de impactos ambientales y optimización de la gestión ambiental. La creciente preocupación por la degradación que están causando las actividades humanas sobre el medio ambiente (cambio climático, contaminación de los ecosistemas acuáticos, generación de residuos, etc.), ha hecho que tanto las administraciones públicas como numerosas empresas se hayan marcado como objetivo tratar de minimizar los problemas medioambientales.

Cabe destacar que la importancia de nuestro estudio radica en la creciente asociación que existe entre altos niveles en la concentración de ciertos contaminantes atmosféricos y el desarrollo de enfermedades de diversa índole sobre todo aquellas relacionadas con el aparato respiratorio y/o cardiovascular. Como se ha comentado en el apartado 1.3 cada vez son más los estudios que demuestran la relación entre la contaminación atmosférica y el desarrollo de enfermedades, la realización de los mismos utilizando distintas metodologías podrá ayudar a la toma de decisiones y medidas respecto a esta problemática para intentar así minimizar los riesgos que para la salud de la población tiene la polución.

Centrándonos mas en nuestro estudio el objetivo fundamental que persigue es, mediante la definición y validación de una metodología que sirva para correlacionar altos niveles de contaminación (aunque no se superen los límites establecidos por la legislación en la concentración de ciertos contaminantes atmosféricos) con el número de ingresos hospitalarios por enfermedades relacionadas con el aparato respiratorio (de origen idiopático o no provocado). Las enfermedades de origen idiopático o no provocado (ambos términos hacen alusión a lo mismo) son aquellas que tienen un

origen desconocido, por lo que su estudio es muy interesante desde el punto de vista científico-médico.

La realización de nuestro estudio tendrá lugar en la ciudad de Sevilla así como en su área metropolitana. Debido a que el área de estudio que nos ocupa no sobrepasa, salvo en contadas ocasiones, los valores límites fijados en la concentración de los distintos contaminantes legislados, no resulta el entorno más propicio para llevarlo a cabo. Aunque la ubicación no resulte el lugar más favorable, nuestro estudio surge en el marco de los Compromisos de Aalborg y al Plan de acción de energía sostenible (PAES) de la ciudad de Sevilla.

En 1992 en Río de Janeiro se celebra la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, donde se aprobó el Programa 21 o Agenda 21.

A partir de aquí surgieron una serie de iniciativas en Europa como la I Conferencia Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles celebrada en mayo de 1994 en la Ciudad de Aalborg durante la cual fue discutida, adoptada y aprobada la Carta de Aalborg. Esta Conferencia tuvo como objetivo trasladar los resultados de la Cumbre de Río de Janeiro (1992) al nivel local europeo, y en particular, los requisitos de la Agenda Local 21. La Carta contiene tres partes: la primera es una declaración de consenso, la segunda está basada en la Campaña de las ciudades europeas hacia la sostenibilidad y la tercera trata sobre la participación en las iniciativas locales del Programa 21 (Planes de acción local a favor de la sostenibilidad). La Carta de Aalborg se firmó inicialmente por 80 autoridades locales europeas y 253 representantes de organismos internacionales, gobiernos nacionales, instituciones científicas, consultores y particulares. Al firmar la Carta, ciudades, pueblos y países europeos se comprometieron a entrar dentro de los procesos de la Agenda 21 Local y a desarrollar planes de acción a largo plazo hacia la sostenibilidad, este fue el punto de partida de la Campaña Europea de Ciudades Sostenibles. La II Conferencia Europea sobre Ciudades Sostenibles se celebró en septiembre de 1996, en Lisboa (Portugal). En esta Segunda Conferencia denominada “De la Carta a la Acción”, se implementan los objetivos expuestos en la Carta de Aalborg y se inicia y desarrolla la Agenda Local 21.

De la III Conferencia Europea de Ciudades Sostenibles, celebrada en Hannover en el año 2000, deriva la Declaración de Hannover, en la que se resalta la necesidad de

utilizar indicadores comunes sobre aspectos sociales, económicos y ambientales para evaluar los progresos realizados en el desarrollo de la sostenibilidad local.

Los Compromisos de Aalborg+10 se aprobaron por los delegados presentes en junio de 2004 en la IV Conferencia celebrada en la ciudad de Aalborg diez años después de la original y fueron suscritos en esta ocasión por centenares de gobiernos locales.

Estos compromisos se crearon para que sirvieran de apoyo a los gobiernos locales europeos en su tarea de implementar la Carta de Aalborg y han establecido importantes guías para trabajar en la mejora de la sostenibilidad a nivel local.

Los Compromisos de Aalborg están integrados por 10 campos de actuación que a su vez cuentan con cincuenta subcompromisos o actividades clave y acciones concretas para el desarrollo local sostenible.

La V Conferencia Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles bajo el título “Llevando los compromisos a la calle” se celebró en Sevilla entre el 21 y el 24 de marzo de 2007. En esta conferencia se ejemplarizaron casos exitosos de la implementación de los Compromisos de Aalborg, con el objetivo de evaluar el avance alcanzado en este proceso y buscar la estrategia para transmitirlo en la calle al ciudadano.

En mayo de 2010 fue celebrada la VI Conferencia Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles en Dunkerque. En esta conferencia se demostraron resultados concretos y se recogieron las experiencias de muchos gobiernos locales participantes de esta campaña.

Finalmente, en abril de 2013 se celebró en Ginebra la VII Conferencia Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles, que estuvo centrada en el debate sobre la gobernanza y financiación para el desarrollo sostenible.

La evolución del proceso de Aalborg se ha producido al mismo tiempo que la Unión Europea iba preparando la Estrategia Urbana Temática y la Estrategia de Desarrollo Sostenible. Los Compromisos de Aalborg no se tratan solo de una declaración de intenciones sino que con ellos se pretende pasar a la acción asumiendo una serie de responsabilidades a favor de la sostenibilidad.

A continuación se listan los 50 subcompromisos de Aalborg:

1. Formas de gobierno:

1. Desarrollar una visión común a largo plazo de una ciudad o pueblo sostenible.
2. Aumentar la participación y la capacidad de desarrollo sostenible en las comunidades locales y las administraciones municipales.
3. Invitar a todos los sectores locales a la participación activa.
4. Hacer que nuestras decisiones sean abiertas, responsables y transparentes.
5. Cooperar con eficacia y en acuerdo con otras ciudades y otros niveles de gobierno.

2. Gestión municipal hacia la sostenibilidad:

1. Consolidar la Agenda Local 21 así como otros procesos de sostenibilidad y enraizarlos en la gestión municipal.
2. Posibilitar una gestión integrada hacia la Sostenibilidad, basada en los principios preventivos y en línea con la Estrategia Temática Urbano de la UE.
3. Fijar objetivos y determinar plazos en el marco de los Compromisos de Aalborg y crear instrumentos de monitorización que faciliten su seguimiento.
4. Asegurar que los temas de sostenibilidad son parte central de los procesos de toma de decisión municipal y que la asignación de recursos está basada en criterios sólidos y amplios de sostenibilidad.
5. Cooperar en la Campaña Europea de Ciudades Sostenibles y sus redes para que supervise y evalúe nuestro progreso hacia la consecución de nuestros objetivos de sostenibilidad.

3. Bienes naturales comunes

1. Reducir el consumo de energía primaria y aumentar el porcentaje de energías limpias y renovables.
2. Mejorar la calidad del agua, ahorrar agua y hacer un uso más eficiente de la misma.
3. Promover y aumentar la biodiversidad y aumentar y cuidar los espacios verdes y las áreas naturales.
4. Mejorar la calidad del suelo, preservar la tierra de producción ecológica y promover la agricultura y la silvicultura sostenible.
5. Mejorar la calidad del aire.

4. Consumo y formas de vida responsables

1. Evitar y reducir los residuos y aumentar el reciclaje y la reutilización.
2. Gestionar y tratar los residuos de acuerdo a los estándares de buenas prácticas.
3. Eliminar el consumo innecesario de energía y mejorar la eficiencia en el destino final de la misma.
4. Asumir la compra sostenibles.
5. Promover activamente el consumo y la producción sostenible, especialmente los productos con etiqueta ecológica, orgánicos de comercio ético y justo.

5. Planificación y diseño urbanístico

1. Regenerar y reutilizar las zonas degradadas y abandonadas
2. Evitar el crecimiento urbano desmesurado, logrando densidades urbanas apropiadas y priorizando el desarrollo urbano en zonas ocupadas frente a zonas verdes.
3. Asegurar un urbanismo de usos del suelo mixtos, con un balance equilibrado entre la actividad laboral, residencial y de servicios, dando lugar a un uso residencial en el núcleo urbano.
4. Asegurar una conservación, renovación y reutilización apropiada de nuestra herencia cultural.
5. Aplicar requerimientos para un diseño y construcción sostenibles y promover la arquitectura de alta calidad favoreciendo las nuevas tecnologías de construcción.

6. Mejorar movilidad y reducción del tráfico

1. Reducir la dependencia del transporte privado motorizado y promover las alternativas atractivas que sean accesibles para todos.
2. Aumentar el porcentaje de desplazamientos en transporte público, peatonal y bicicleta.
3. Promover el cambio a vehículos de bajas emisiones.
4. Desarrolla planes integrados de movilidad urbana sostenible.
5. Reducir el impacto del transporte en el medio ambiente y en la salud pública.

7. Acción local para la salud

1. Aumentar la conciencia pública y realizar actuaciones sobre un amplio conjunto de determinantes para la salud, la mayoría no relacionada directamente con el sector sanitario.
2. Promover el desarrollo de planes de salud municipales que proporcionen a nuestras ciudades los medios para construir y mantener alianzas estratégicas para el bienestar.
3. Reducir desigualdades sanitarias y ocuparnos de la pobreza, lo que requiere estudios regulares del progreso realizado en la reducción de estas desigualdades.
4. Promover la evaluación de los impactos en la salud, como una vía para que todos los sectores trabajen en una mejora en la salud y la calidad de vida
5. Movilidad a los agentes de planificación urbana para que incorporen consideraciones hacia la salud pública en sus estrategias e iniciativas de planificación.

8. Economía local viva y sostenible

1. Adoptar medidas que estimulen y apoyen el empleo local y la creación de empresas
2. Cooperar con las empresas locales para promover e implantar buenas prácticas corporativas.
3. Desarrollar e implantar principios de sostenibilidad en la localización de las empresas.
4. Incentivar a los mercados hacia los productos locales y regionales de alta calidad.
5. Promover el turismo local sostenible.

9. Igualdad y justicia social

1. Desarrollar e implementar medidas para prevenir y paliar la pobreza.
2. Asegurar un acceso equitativo a los servicios públicos, educación, empleo, formación e información, así como a las actividades culturales.
3. Promover la inclusión social y la igualdad entre hombres y mujeres.
4. Mejorar la seguridad ciudadana.
5. Asegurar condiciones de vida y alojamiento de buena calidad y socialmente integradas.

10. De lo local a lo global

1. Desarrollar y seguir un enfoque estratégico e integrado para mitigar el cambio climático, y trabajar para conseguir un nivel sostenible de emisión de gases invernadero.
2. Integrar la política de protección medioambiental en el núcleo de nuestras políticas en el área de la energía, el transporte, el consumo, los residuos, la agricultura y la silvicultura.
3. Aumentar la concienciación sobre las causas y los impactos probables del cambio climático, e integrar acciones preventivas en nuestras políticas sobre el cambio climático.
4. Reducir nuestro impacto en el medio ambiente global, y promover el principio de Justicia ambiental.
5. Fomentar la cooperación internacional de pueblos y ciudades y desarrollar respuestas locales a problemas globales, en asociación con gobiernos locales, comunidades y partes interesadas.

En el marco local, el compromiso de Sevilla ante el desarrollo sostenible ha seguido la siguiente evolución:

Sevilla firma la carta de Aalborg el 25 de abril de 1996 y se adhiere de esta forma a la Campaña de Ciudades Europeas Sostenibles. La Ciudad participa activamente en la II Conferencia de Ciudades Europeas Sostenibles (Lisboa 1996) y suscribe igualmente todos los acuerdos de la III Conferencia celebrada en Hannover (2000), promoviendo además la iniciativa de los indicadores comunes europeos. En 2004, Sevilla asiste a la IV Conferencia de Aalborg +10, subscribiendo los compromisos acordados (50 subcompromisos). En 2007 Sevilla organiza la V Conferencia Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles, reiterando su firme compromiso con el proceso de Desarrollo Sostenible local. La adhesión de Sevilla a la Agenda 21 Local y la ratificación de los Compromisos de Aalborg el 26 de julio de 2013 de forma voluntaria son muestras claras del fuerte compromiso que tienen las autoridades locales de crear una ciudad sostenible a largo plazo.

Además tomó la iniciativa en la celebración de la Conferencia Euromediterránea de Ciudades Sostenibles de 1999, y en el año 2000 tuvo lugar en Sevilla el I Seminario Técnico sobre Indicadores Comunes Europeos, como respuesta a la implicación en la Conferencia de Hannover.

Como consecuencia de la pertenencia de Sevilla a la Campaña Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles, se inicia la implantación de la Agenda Local 21. Para ello, en el año 2000, la ciudad de Sevilla creó el Consejo Sectorial Local de Medio Ambiente y Sostenibilidad de Sevilla.

El proceso completo de la Agenda 21 Local contempla el Diagnóstico de Sostenibilidad, el Sistema de Indicadores, y el Plan de Acción y requiere que cada uno de estos tres capítulos atienda, al menos, a los cincuenta subcompromisos de Aalborg. En esta línea, el año 2001 el citado Consejo Sectorial Local de Medio Ambiente y Sostenibilidad aprobó el Diagnóstico Sostenibilidad y, tras la fase de participación ciudadana, a través del Foro de Participación Ciudadana, se obtuvo el Primer Sistema de Indicadores (año 2004). El resultado fue un sistema de indicadores muy completo y exhaustivo

Por otro lado, en el año 2006 se trabajó en un documento que se denominó “Planificación de Actuaciones”, que pretendió ser el Plan de Acción de la Agenda 21 local, nunca llegó a ser aprobado por el Consejo de Participación ni por el Pleno Municipal.

El 23 de junio de 2009 la ciudad de Sevilla formalizó su adhesión al “Pacto de los Alcaldes contra el Cambio Climático”, iniciativa europea por la que los gobiernos locales adheridos se comprometen a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 20 % para el 2020. Para alcanzar dicho objetivo, en el año 2010 se presentó el primer Plan de Acción de la Energía Sostenible de la ciudad (PAES), revisado recientemente (julio 2013), y siendo aprobado por el Pleno Municipal por Acuerdo de todos los grupos políticos.

En 2012 se aprobó la Ordenanza para la Gestión de la Energía, el Cambio Climático y la Sostenibilidad de Sevilla (BOPS nº 230, martes 2 de octubre de 2012), para cumplir con los compromisos adquiridos por la ciudad de Sevilla en materia de sostenibilidad,

derivados de la firma de la Carta de Aalborg y la adscripción a la Campaña Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles; en materia de prevención del cambio climático, como consecuencia de su adhesión al Pacto de los Alcaldes; y a la mejora continua de la gestión de la energía en el ámbito local.

Esta Ordenanza recoge en su artículo 14, la necesidad de que el sistema de indicadores de sostenibilidad atienda inexcusablemente, al menos, a los cincuenta aspectos definidos en los Compromisos de Aalborg. En esta línea y considerando la problemática de seguimiento de algunos de los indicadores de sostenibilidad de la ciudad, puesta de manifiesto en su aplicación práctica, en 2012 se decidió revisar dicho sistema de indicadores, tomando como referencia los Compromisos de Aalborg.

Adicionalmente, cabe mencionar que la ciudad ha asumido las tareas ligadas al Convenio de Adhesión a la Red de Ciudades y Pueblos Sostenibles de la Federación Andaluza de Municipios y Provincias (FAMP), así como a la Red de Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía (Programa Ciudad 21). Sevilla pertenece además a la Red de Ciudades por el clima de la FEMP, foro en el que participa activamente a nivel técnico y político.

Por último, el presente documento recoge los resultados del Diagnóstico de Sostenibilidad de la ciudad de Sevilla, que evalúa la situación de la ciudad respecto a cada uno de los 50 subcompromisos de Aalborg.

Una vez realizado el presente diagnóstico, las conclusiones obtenidas supondrán un importante punto de partida para la definición del Plan de Acción de Sostenibilidad, documento que culminaría el ciclo.

Si bien nuestro estudio podría relacionarse de forma indirecta con la mayor parte de los subcompromisos, los que se citan a continuación son en los que estaría enmarcado más directamente: Compromiso 3(Bienes naturales comunes) subcompromiso 5 (Mejorar la calidad del aire), compromiso 6(Mejorar movilidad reducción del tráfico) subcompromiso 5 (reducir el impacto del transporte en el medio ambiente y en la salud pública) y compromiso 7 (Acción local para la salud).

En cuanto al subcompromiso 3.5 cabe destacar que el fenómeno de la contaminación atmosférica es un fenómeno especialmente significativo en las áreas urbanizadas, en

las cuales se concentran numerosas actividades. A la larga, la contaminación atmosférica y la baja calidad del aire no son sostenibles. Las medidas que deben tomarse en el ámbito local son numerosas. Las autoridades locales deben supervisar regularmente la calidad de aire y asegurar su control y conformidad. Además, los programas de reducción de la contaminación atmosférica han de implicar al sector del transporte y deben aspirar a reducir el volumen de tráfico, la frecuencia de viajes y la distancia recorrida por los vehículos. La reducción del tráfico, las prohibiciones de tráfico, las asignaciones de rutas para el tráfico, los límites de velocidad inferiores, los peajes y los controles, todo ello son medidas que pueden ayudar a mejorar la calidad del aire en áreas urbanas sensibles, así como en áreas residenciales y comerciales. El transporte público, usar la bicicleta y andar no emiten o emiten menos emisiones que los coches privados y, por consiguiente, las autoridades locales deben animar, persuadir y empujar a las comunidades hacia su utilización. Los programas de reducción de la contaminación atmosférica a nivel local también incluyen medidas de planificación urbana. Sin embargo, todas estas medidas están encaminadas a cambiar el comportamiento humano y por ello requieren ir acompañadas de campañas de información, educación y concienciación.

El subcompromiso 6.5 considera que los flujos de tráfico producen un impacto negativo en la salud debido a los contaminantes y a los ruidos que genera. En las estrategias de movilidad es importante tener en cuenta el control de los flujos de tráfico en lugares especiales y bajo distintas condiciones climáticas. Un elemento más a tener en cuenta es el impacto del uso del coche en la salud individual. Los planes de movilidad deben considerar los flujos de tráfico en relación al empleo ya las amenidades locales de cada área reestructurada o de nuevo desarrollo. La responsabilidad por la protección del clima aparece directamente vinculada al transporte y sus emisiones de gases de efecto invernadero. Además de contribuir al cambio climático, el consumo de energía y los contaminantes tienen un impacto negativo en el medio ambiente, por ejemplo, en las áreas verdes de la localidad. Las ideas presentadas en previos subcompromisos pueden resultar de ayuda para lograr este objetivo. A corto plazo, se pueden introducir regulaciones de tráfico para disminuir el consumo de energía. Sin embargo, el punto crucial consiste en reducir la

congestión del transporte para lograr una reducción efectiva de las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir el impacto medioambiental.

El compromiso 7 se centra en preservar y promover la salud y el bienestar de la población, siendo uno de los compromisos clave en los que se encuadra nuestro estudio. Una buena salud es algo que cada persona individualmente desea, pero también es crucial para el conjunto de la sociedad y de su desarrollo sostenido a largo plazo. En el ámbito internacional la Organización Mundial de la Salud ha estado trabajando desde el año 1948 para alcanzar el nivel más alto posible de salud y es un centro de conocimientos capital en lo que se refiere a las cuestiones globales de salud urbana.

WHO Healthy Cities y el programa de gobierno participativo urbano implica a los gobiernos locales en el desarrollo de la salud a través de un proceso de compromisos político, de cambio institucional, de desarrollo de aptitudes, de planificación participativa y de proyectos de innovación. Promueve políticas y planes amplios y sistemáticos, que ponen especial énfasis en las desigualdades en la salud y la pobreza urbana, las necesidades de los grupos más vulnerables, la gobernanza participativa y los determinantes sociales, económicos y medioambientales de la salud. También procura incluir las consideraciones sobre la salud en los esfuerzos económicos, de regeneración y de desarrollo urbano. Según la Valoración de Impacto de la Comunicación sobre Estrategia Temática en el Medio Ambiente Urbano (SEC(2006) 16) siguen existiendo graves problemas, debidos al transporte rodado o a la calefacción doméstica, con algunos contaminantes atmosféricos, tales como partículas materiales (PM), óxidos de nitrógeno y ozono. Debido a la alta concentración de la población y de las fuentes de emisión, la exposición a estos contaminantes se concentra en las áreas urbanas. Los valores límites para las PM en la legislación de la Unión Europea entraron en vigor en enero del año 2005. Según datos fidedignos, es probable que el 45% de la población total europea viva en ciudades en las cuales las concentraciones de PM exceden los valores límite y más del 30% vivan en ciudades en las que la concentración de ozono está por encima de los niveles de protección de la salud humana. Niveles altos de tráfico también causan congestión en las áreas urbanas, así como numerosos accidentes de tráfico y víctimas mortales. Problemas de salud en los interiores tienen por causa factores estresantes medioambientales, pero también el deterioro y el

abandono del medio ambiente construido. La dependencia del coche y de los vehículos a motor impulsada por la planificación urbana, así como las preocupaciones con la seguridad en algunas, han reducido las oportunidades de practicar actividades físicas (andar, correr, ir en bicicleta, etc) contribuyen y también así a aumentar los problemas de salud.

Otro documento de enorme relevancia para encuadrar nuestro estudio es el Plan de Acción para la Energía Sostenible (PAES). El PAES es un documento que muestra de qué manera el gobierno local alcanzará su objetivo de reducir las emisiones de CO₂ para el año 2020. Las acciones deberán hacer referencia tanto al sector público como privado. Aquellos municipios adheridos al Pacto de Alcaldes se comprometen a elaborar y presentar sus PAES durante el año siguiente a la adhesión. La ciudad de Sevilla, formalizó su adhesión al Pacto de Alcaldes el 23 de junio del año 2009, presentando su primer Plan de Acción de Energía Sostenible en el año 2010 dando cumplimiento a los compromisos asumidos por la capital hispalense en materia de lucha contra el Cambio Climático.

Un apartado con el que cuenta este documento es el Inventario de emisiones de la Ciudad de Sevilla cuyo objetivo es el planteamiento de distintas acciones y programas destinados a reducir el volumen de emisiones y por tanto las toneladas de CO₂, para de este modo participar en la lucha que contra el Cambio Climático se lleva a cabo. El diseño de medidas debe partir de un conocimiento previo sobre los diferentes focos de emisión y su contribución relativa a las emisiones totales, es decir, de un Inventario de Emisiones. Este Inventario está constituido por las emisiones generadas por edificios, equipamientos, instalaciones e industrias, por las emisiones debidas al tratamiento y eliminación de residuos sólidos urbanos y a las aguas residuales y por las emisiones generadas por el tráfico. Dado que la mayor parte de la contaminación atmosférica está provocada por el tráfico rodado constituyendo una de las principales causas de exposición de la población urbana a los contaminantes nos centraremos en las emisiones generadas por este sector. Como puede verse en la siguiente figura el transporte incluyendo público, privado y comercial suponen el 42% de las emisiones totales de CO₂ (Tn/año CO₂ eq) que se generan en la ciudad de Sevilla.

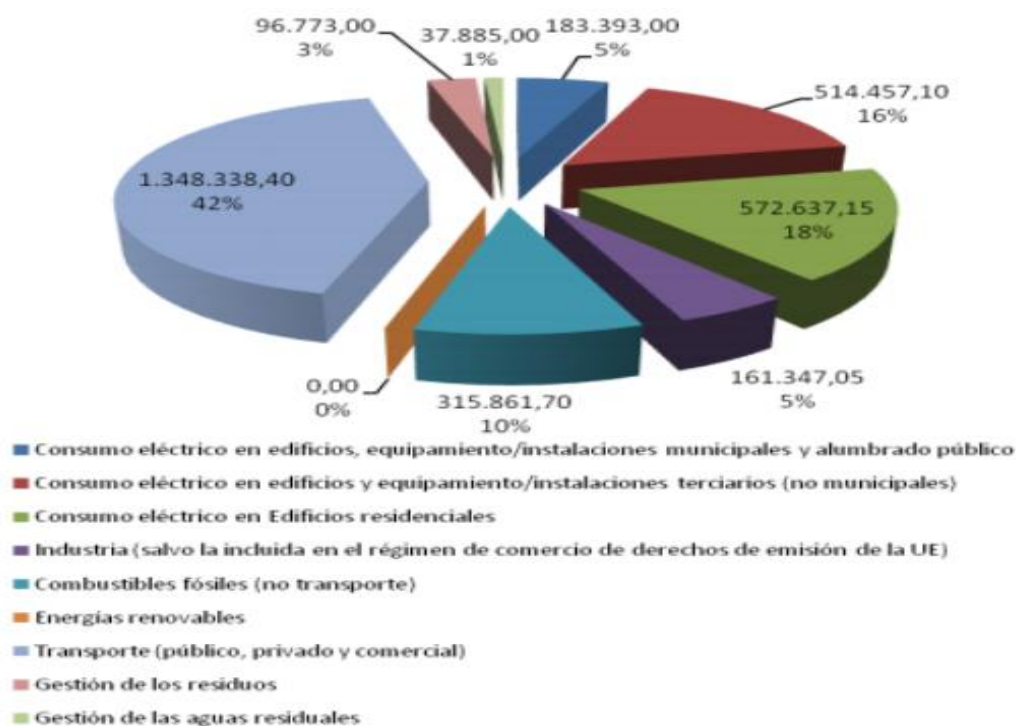


Figura 9: Emisiones de CO₂ totales por sectores. Fuente: *Inventario de emisiones PAES de Sevilla*.

Como se observa en los datos presentados, el tráfico es el principal causante de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI's) en la capital sevillana. El problema del tráfico y la congestión no admite soluciones tecnológicas milagrosas. Su paulatina resolución va a requerir de un gran esfuerzo colectivo de concienciación ciudadana, de participación y responsabilidades compartidas en el rediseño del viario y en la concepción del tejido metropolitano. Es preciso apostar por sistemas de accesibilidad y opciones de movilidad que partan de una planificación integral tanto de los sistemas de transporte, como del territorio, y consigan ser respetuosos con el medio ambiente. Ello se puede lograr fomentando los modos más eficientes energéticamente, como son los transportes públicos y los modos autónomos.

A la hora de realizar el estudio se distinguieron los diferentes vehículos por el tipo de carburante que utilizaban (gasolina, gasoil y otros) y por su tipología (turismos, motocicletas, autobuses...). Ha resultado un total de 495.569 vehículos censados en Sevilla. Las emisiones del tráfico de estos vehículos se contabilizaron en t/año de CO₂, de CH₄ y de N₂O, cuyo resultado, transformado a toneladas de CO₂ equivalente resultó ser de 1.348.338,40, de los cuales 75.159,40 t/año CO₂ eq corresponde a los

autobuses, 429.666 t/año CO₂ eq corresponde a los vehículos de mercancías, 831.952 t/año CO₂ eq corresponde a los turismos, 9.687 t/año CO₂ eq corresponde a las motos y 1.874 t/año CO₂ eq corresponde a los ciclomotores.

4.3 Objetivos

El objetivo general de nuestro estudio será definir y validar una metodología que sirva para correlacionar altos niveles (aunque no se superen los límites establecidos en la concentración de ciertos contaminantes atmosféricos) con el número de ingresos hospitalarios por enfermedades relacionadas con el aparato respiratorio, de origen idiopático, para así intentar dar respuesta a un buen número de enfermos en los que la causa de su dolencia o afección es totalmente desconocida.

El objetivo general se concentra en los siguientes objetivos específicos:

- Conocer la calidad y la disponibilidad de los datos relativos a ingresos hospitalarios.
- Depurar entre los datos totales de contaminación atmosférica aquellos que sean de utilidad.
- Correlacionar ambos datos.
- Validar.
- Establecer las vías para hacer posible la metodología.
- Establecer las conclusiones para la toma de decisiones respecto a la problemática que estamos abordando.

5. METODOLOGIA

‘Respiramos continuamente y estamos expuestos a la contaminación atmosférica tanto dentro como fuera de casa’

(Erik Lebrecht)

En este capítulo central abordaremos la definición de la metodología utilizada para correlacionar concentración de contaminantes atmosféricos e ingresos hospitalarios ocasionados por enfermedades relacionadas con el aparato respiratorio de carácter idiopático, con el objeto de validar dicha metodología y vislumbrar si existe correlación haciendo uso de la misma.

Se trata de un estudio prospectivo, multicéntrico de pacientes diagnosticados de patología pulmonar idiopática o no provocada (el término idiopático o no provocado hace referencia al origen desconocido de la enfermedad) la cual ha derivado posteriormente en ingreso hospitalario en la Unidad Médico Quirúrgica de Enfermedades Respiratorias del Hospital Universitario Virgen del Rocío (Sevilla). La realización del estudio ha tenido lugar desde enero de 2012 hasta agosto de 2013 y los casos de estudio pertenecen a los distintos municipios del área metropolitana de Sevilla incluyendo la capital.

Los datos relativos a la concentración de los distintos contaminantes en cada una de las estaciones de referencia han sido extraídos de la web de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, mientras que los datos de ingresos hospitalarios han sido proporcionados por el Hospital Universitario Virgen del Rocío (Sevilla). Todos los datos obtenidos se encuentran en el marco del Convenio de Prácticas entre la Universidad de Sevilla y la Agencia de la Energía y para la Sostenibilidad de Sevilla, mediante la realización de prácticas extracurriculares por la alumna.

A continuación, describimos la metodología empleada, dividiéndola para ello en 5 subapartados.

1) Definición de variables

Se analizarán una serie de datos para proceder a la realización del estudio, entre los que se encuentran: datos de parámetros médicos, datos de parámetros contaminantes y datos de parámetros meteorológicos.

Entre los datos de parámetros médicos destacan los siguientes:

Se facilitará la ubicación del paciente que presenta una determinada patología pulmonar al que denominaremos como **receptor discreto**, indicando el lugar objeto de estudio donde reside o permanece la mayor parte del tiempo dicho receptor, incorporando para ello, la calle así como el municipio. Al estudio solo se aportará la calle de residencia del enfermo, garantizando en todo momento la confidencialidad de los datos. También se tendrá en cuenta la **fecha de referencia**, que se corresponde con el día en el que el paciente comienza a presentar los síntomas de la enfermedad. La fecha de referencia puede coincidir en algunos casos con la **fecha de ingreso**.

Una vez obtenida la fecha de referencia se establecerá un periodo de 30 días previos a dicha fecha y que denominaremos como **periodo de estudio**.



Figura 10: Representación periodo de estudio, fecha de referencia e ingreso hospitalario.
Fuente: *Elaboración propia.*

Entre los datos de parámetros contaminantes destacan los siguientes:

Se seleccionarán los datos de los niveles de inmisión de los diferentes contaminantes entre los que se encuentran: PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂, O₃ y CO. Se seleccionarán los siguientes valores:

-Aquellos valores de inmisión diarios para cada contaminante del periodo de estudio para cada paciente.

-Aquellos valores de inmisión diarios para cada contaminante del año anterior al comienzo del periodo de estudio.

-Aquellos valores de inmisión diarios para cada contaminante del periodo de estudio pero de los tres años anteriores al año en el que se produjo el ingreso el paciente.

Entre los datos de parámetros meteorológicos destacan los siguientes:

Se partirá de la estación de control de calidad del aire más cercana a la ubicación del receptor discreto. La distancia entre la estación de referencia y la calle donde reside el paciente no deberá exceder los 6 km para entender los datos como representativos. Además, la estación debe disponer de datos meteorológicos, ya que todas las estaciones no proporcionan este tipo de datos. Una vez seleccionada la estación que cumple estos dos requisitos se obtienen los datos medios de velocidad y dirección del viento del periodo de estudio, con la finalidad de determinar la procedencia de los contaminantes existentes según los vientos dominantes. De esta manera, a cada receptor discreto queda asignada una estación de referencia, atendiendo a los criterios de selección detallados anteriormente.

Las estaciones remotas que cumplen los requisitos mencionados anteriormente y que por lo tanto han sido tenidas en cuenta en nuestro estudio son las siguientes: Aljarafe, Alcalá de Guadaira, Ranilla, Torneo, Príncipes, Bermejales, Santa Clara, Centro y San Jerónimo. Cabe puntualizar, que no todas las estaciones monitorizan los mismos tipos de contaminantes atmosféricos.

A continuación, se muestra una figura donde se recoge la ubicación geográfica de las estaciones de referencia. Aunque en la figura aparecen un mayor número de estaciones, aquellas marcadas con una estrella serán las tenidas en cuenta en nuestro estudio. Por su parte, los círculos indican el área de influencia de 6 Km alrededor de cada una de las estaciones de referencia.

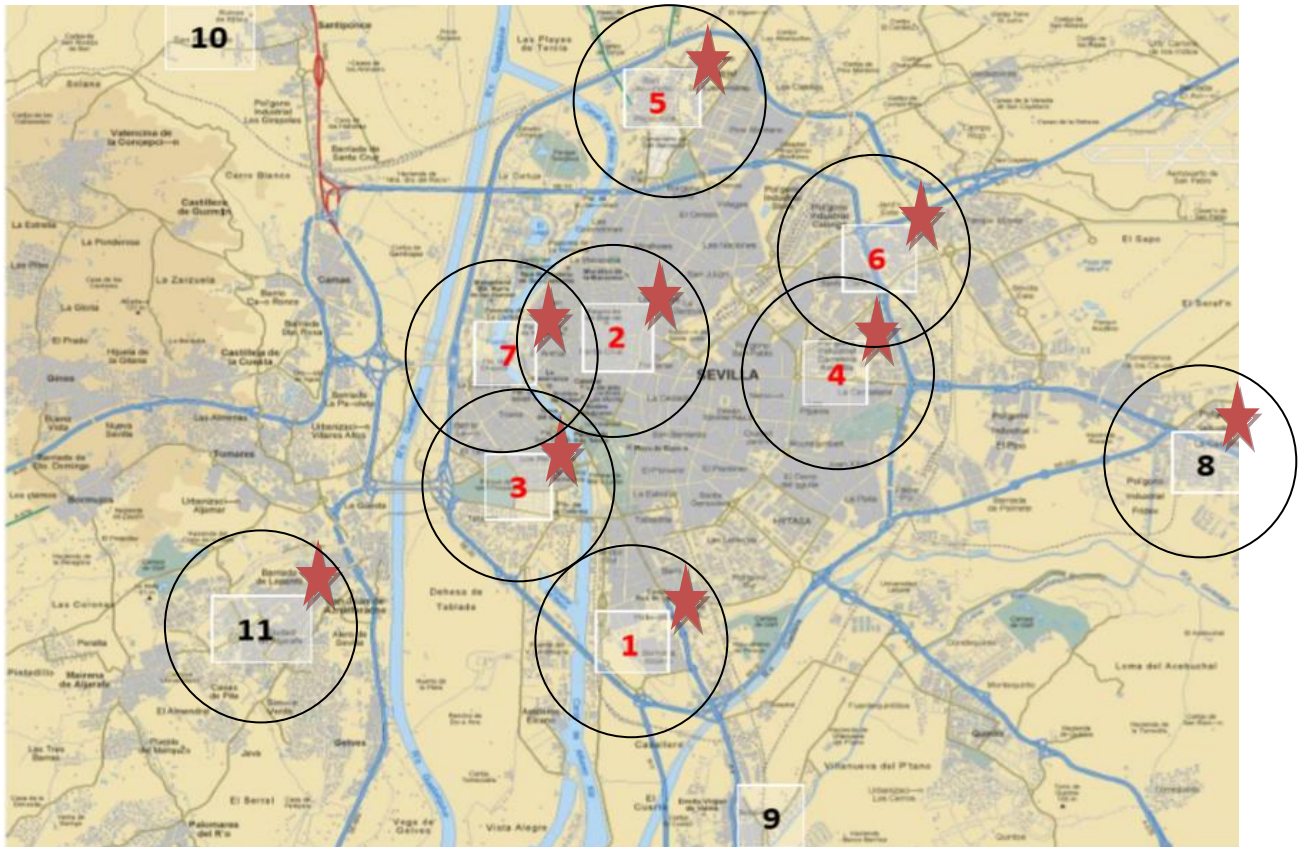


Figura 11: Distribución geográfica de las estaciones de referencia de Sevilla y su área metropolitana. *Fuentes: Ecologistas en acción y elaboración propia.*

A continuación, se muestra un esquema de carácter general y orientativo en el que se representa la disposición del receptor discreto, y de las estaciones remotas indicando la distancia máxima entre ambas variables para considerar los datos representativos.

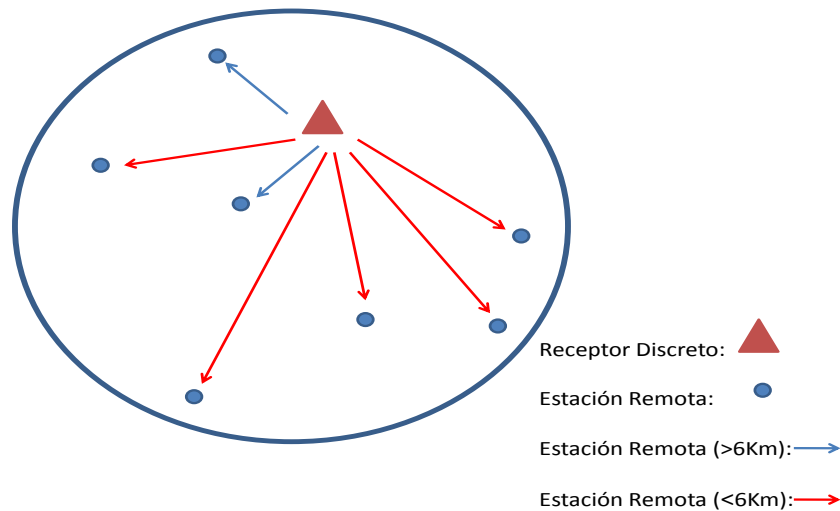


Figura 12: Disposición general del receptor discreto y las estaciones remotas. *Fuente: Elaboración propia.*

2) Tratamiento de datos

-Realizaremos la media ponderada de aquellos valores de inmisión diarios para cada contaminante del periodo de estudio para cada paciente, valor que denominamos **media del periodo de estudio**.

-Realizaremos la media ponderada de aquellos valores de inmisión diarios para cada contaminante del año anterior al comienzo del periodo de estudio, valor que denominamos **media anual**.

-Realizaremos la media ponderada de aquellos valores de inmisión diarios para cada contaminante del periodo de estudio pero de los tres años anteriores al año en el que se produjo el ingreso el paciente, valor que denominamos **media mensual**.

3) Comparación de datos

Compararemos el valor denominado **media anual** para cada uno de los contaminantes, con el valor **media del periodo de estudio**. Aquellos en los que el valor de este último periodo, para cada uno de los contaminantes, supere al valor media anual serán considerados como significativos y marcados como **VA** (Valor Anual).

De la comparación de ambos datos (media del periodo de estudio y media anual) se obtendrá el correspondiente porcentaje de incremento o decremento, el cual será reflejado en cada caso de estudio.

Así mismo, el valor **media mensual** se compara con el valor **media del periodo de estudio**. Aquellos en los que el valor media del periodo de estudio, para cada uno de los contaminantes, supere al valor media mensual serán considerados como significativos y marcados como **VM** (Valor Mensual).

De la comparación de ambos datos (media del periodo de estudio y media de los tres años anteriores) se obtendrá el correspondiente porcentaje de incremento o decremento, el cual será reflejado en cada caso de estudio

Podremos obtener los siguientes casos:

- a) Casos en los que la media del periodo del estudio no supera ni a la media anual ni a la media mensual.
- b) Casos en los que la media del periodo de estudio solo supere a la media anual (**VA**).
- c) Casos en los que la media del periodo de estudio solo supere a la media mensual (**VM**).
- d) Casos en los que la media del periodo del estudio supere tanto a la media anual como a la media mensual (**VA/VM**). Este será el valor más significativo para nuestro estudio.

4) Recuento de valores

Una vez marcados los casos **VA**, **VM** y **VA/VM** para cada uno de los 6 contaminantes, llevaremos a cabo el primer análisis, que consiste en lo siguiente:

- a) Comenzaremos por llevar a cabo el recuento del número de **VA**, **VM** y **VA/VM** para cada uno de los contaminantes.
- b) Se procederá, para cada contaminante, al recuento del número de receptores discretos en los que dicho contaminante ha sido monitorizado.

Con estos dos datos hallaremos el porcentaje que supone **VA**, **VM** y **VA/VM** sobre el total de casos monitorizados para cada contaminante, porcentaje que nombraremos como **%VA**, **%VM** y **%VA/VM**.

5) Clasificación escala de valores

Para el segundo análisis, el valor que vamos a tener en cuenta es **VA/VM** para cada uno de los 6 contaminantes y consistirá en lo siguiente:

- a) Obtendremos un porcentaje que representa la superación del valor media del periodo de estudio sobre el valor media anual.
- b) El mismo procedimiento que en a) pero teniendo en cuenta el valor media mensual.

Con los dos porcentajes de superación obtenidos anteriormente, haremos la media ponderada, obteniéndose un único porcentaje de superación.

A continuación, clasificamos estos porcentajes de superación para cada uno de los contaminantes en una escala de valores que hemos definido, la cual se detalla a continuación:

0-25% (Bajo)→ cuando el porcentaje de superación está entre 0 y 25%.

25-50% (Medio)→ cuando el porcentaje de superación está entre 25 y 50%.

50-75% (Elevado)→ cuando el porcentaje de superación está entre 50 y 75%.

<75% (Muy elevado)→ cuando el porcentaje de superación es mas de un 75%.

6. RESULTADOS

‘Vayamos donde vayamos, respiramos aire que contiene toda una serie de contaminantes en proporciones que a veces pueden tener efectos perjudiciales para la salud’

(Erik Lebret)

Como quedó referenciado en el apartado 1.3 en un buen número de casos, el motivo que da lugar a la enfermedad pulmonar es de origen desconocido, lo que se conoce con el término de idiopático o no provocado, este número de casos aumenta cada año, lo que está haciendo pensar a los investigadores que pueda ser debido a la contaminación atmosférica. En este apartado, se expondrán los resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología detallada en el punto 5 con el objetivo de dar respuesta a ese número de pacientes ingresados en los que la causa de su enfermedad pulmonar es desconocida.

Con los datos de partida, tenemos que el número total de personas ingresadas en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla en la Unidad Médico Quirúrgica de Enfermedades Respiratorias por patología pulmonar idiopática asciende a 184 pacientes. De estos 184 casos, 79 de ellos se consideran no representativos ya que no responde a los criterios de calidad previamente establecidos que son, por un lado que la estación de referencia no se encuentre a una distancia superior a 6 Km del domicilio del paciente y por otro lado que dicha estación de referencia disponga de datos meteorológicos, por lo que a la vista de estos criterios de calidad no tendremos en cuenta 79 casos mientras que los 104 restantes serán utilizados para llevar a cabo la aplicación de la metodología que se propone.

En la tabla que se muestra a continuación se recogen los distintos casos de estudio, así como el número de pacientes ingresados en cada caso. Aquellos pacientes en los que su domicilio se encuentre a una distancia mayor de 6 Km de la estación de referencia, no serán tenidos en cuenta por no considerarse dichos valores representativos para llevar a cabo nuestro estudio.

<i>Casos de estudio</i>	<i>Número de pacientes ingresados</i>
Total casos	184
Casos no representativos (lejanos)	79*
Casos representativos	104

*Los pacientes pertenecientes a los casos no representativos no se tendrán en cuenta en nuestro estudio, por considerarse la estación de referencia demasiado lejana al domicilio del paciente. Tabla 8: Relación del número de pacientes ingresados en cada caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez seleccionados los casos representativos y desechados aquellos que no lo son por los motivos comentados en el párrafo anterior, se llevarán a cabo dos análisis.

En el primero de los análisis se contabilizará para cada contaminante el número de **VA, VM y VA/VM**. Por su parte, el segundo análisis consistirá en obtener un porcentaje que representa la superación del valor media del periodo de estudio sobre el valor media anual y media mensual, clasificándolo posteriormente en una escala de valores.

En la siguiente tabla se muestra para cada uno de los contaminantes el número de casos totales (número de pacientes en los que se ha monitorizado un determinado contaminante) así como el número de superaciones del valor media anual y media mensual y sus respectivos porcentajes. El estudio de las superaciones VA y VM cobra más sentido cuando queramos centrarnos en datos de un contaminante concreto, de las superaciones que este haya tenido a lo largo de los años y los motivos de estas superaciones. Por lo que dicho esto, para el análisis que nos interesa en este trabajo nos centraremos en los datos de las superaciones del valor media del periodo de estudio sobre el valor media anual y media mensual (VA/VM).

Contaminantes	Casos monitorizados	Número casos VA	Número casos VM	%VA	%VM
PM 10	78	26	21	33,3	26,9
SO₂	84	37	35	44	41,7
NO₂	107	37	19	34,6	17,7
O₃	85	42	38	49,4	44,7
PM 2,5	12	3	3	25	25
CO	73	35	36	47,9	49,3

Tabla 9: Relación de contaminantes con el número de casos VA y VM, casos monitorizados y su respectivo porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

En la tabla 30 (pág. 102) se representa el número de casos monitorizados para cada contaminante, así como el número de casos VA/VM y su respectivo porcentaje. No obstante, en la siguiente tabla se presenta la correlación VA, VM y VA/VM para cada contaminante. De esta forma, el número de casos VA/VM nunca podrá ser mayor al número de casos VA o VM para cada uno de los contaminantes. En este sentido, el

número de casos VA/VM deberá ser siempre igual o inferior al valor del número de casos VA o VM que presente el número más bajo.

Para PM10, el número de casos VA/VM (13) estará contenido en 21, para el SO₂ el número de casos VA/VM (28) estará contenido en 35. Para el NO₂ y el O₃ el número de casos VA/VM (11 y 20) estarán contenidos en 19 y 38 respectivamente, mientras que el número de casos VA/VM (3 y 26) estará contenido en 3 y 35 para los contaminantes PM2,5 y CO respectivamente.

<i>Contaminantes</i>	<i>Número casos VA</i>	<i>Número casos VM</i>	<i>Número casos VA/VM</i>
PM 10	26	21	13
SO₂	37	35	28
NO₂	37	19	11
O₃	42	38	20
PM 2,5	3	3	3
CO	35	36	26

Tabla 10: Número de casos VA, VM y VA/VM por contaminante. *Fuente: Elaboración propia.*

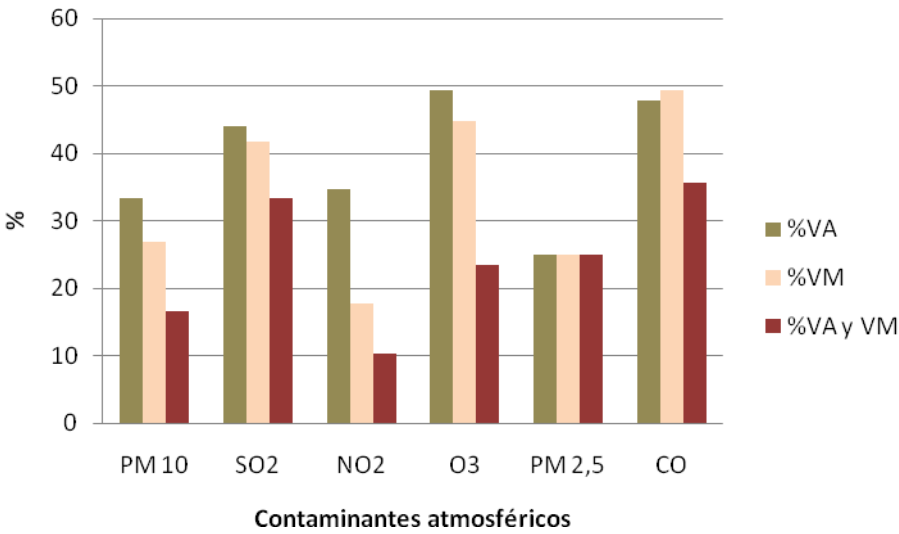


Gráfico 1: Relación de los distintos contaminantes con los respectivos porcentajes VA, VM y VA/VM. *Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados se mostrarán en un primer apartado (6.1) por contaminante, describiendo y detallando el número de casos con superaciones así como su posterior clasificación en la escala de valores utilizada, etc. Posteriormente en un segundo apartado (6.2) se procederá a describir los resultados de una forma general.

6.1 Resultados por contaminante

En este apartado se detallarán los resultados obtenidos por cada uno de los 6 contaminantes estudiados.

Monóxido de Carbono

Como se vió en el apartado 1.3 el monóxido de carbono (CO) es un gas generado por la combustión incompleta de combustibles orgánicos. Es una sustancia altamente tóxica ya que se combina con la hemoglobina de la sangre impidiendo el transporte de oxígeno a los tejidos, pudiendo provocar la muerte por anoxia.

En cuanto a los valores fijados por normativa para la concentración de este contaminante, el encargado de su regulación es el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire ambiente. Los valores aquí fijados no son más que una transposición al ordenamiento jurídico español de los valores especificados en la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.

1) Valor límite de monóxido de carbono para la protección de la salud.

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor límite</i>
Valor límite	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	10 mg/m³

Tabla 11: Valor límite de monóxido de carbono para la protección de la salud. *Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.*

Según la metodología mencionada, partiremos de un total de 184 pacientes que han sido ingresados en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla por patología pulmonar idiopática o no provocada. De ellos, 79 no serán tenidos en cuenta en nuestro estudio ya que no responde a los criterios de calidad previamente establecidos que son, por un lado que la estación de referencia no se encuentre a una distancia superior a 6 Km del

domicilio del paciente y por otro lado que dicha estación de referencia disponga de datos meteorológicos para saber la dirección de los vientos dominantes y por lo tanto saber de donde procede el contaminante, por lo que a la vista de estos criterios de calidad tendremos en cuenta 104 casos. De estos 104 casos, se ha monitorizado esta sustancia en 73 de ellos, de los cuales en 26 se ha obtenido superación del valor media del periodo de estudio sobre el valor media anual y mensual (VA/VM), suponiendo las superaciones VA/VM un 35,6%. Este penúltimo dato será clasificado según el porcentaje de superación en: 0-25% (Bajo), 25-50% (Medio), 50-75% (Elevado) y >75% (Muy elevado). En la mayor parte de los 26 pacientes se ha obtenido una VA/VM de más del 75%, en concreto en 13 de ellos, el resto de casos se corresponde casi a partes iguales en superaciones de entre 25-50% (Medio) y superaciones entre el 50-75% (Elevado) con 6 y 7 pacientes respectivamente. Como puede verse en la mayor parte de los casos la superación corresponde a más del 75% (Muy elevado), siendo en 8 casos de los 13 de más de un 90%, este hecho nos hace vislumbrar que los valores correspondientes a la media del periodo de estudio superaron en un porcentaje muy alto al valor media anual y mensual (VA/VM).

En las siguientes tablas se muestra el total de casos monitorizados, el número de casos VA/VM y su respectivo porcentaje, así como la escala de umbrales junto al número de casos VA/VM y su porcentaje:

Contaminante	Casos monitorizados	Número casos VA/VM	%VA/VM
CO	73	26	35,6%

Tabla 12: Casos monitorizados, número casos VA/VM y respectivo porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

Umbral	Número casos VA/VM	Porcentaje
0-25% (Bajo)	-	-
25-50% (Medio)	6	23%
50-75% (Elevado)	7	26,9%
<75% (Muy elevado)	13	50%

Tabla 13: Escala de umbrales de superación, número casos VA/VM y porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

La contaminación por CO cobra más sentido en espacios cerrados o interiores, si bien es cierto en espacios abiertos genera numerosos problemas de salud. Este gas se genera por la combustión incompleta de los combustibles a base de hidrocarburos como gas natural, gasolina o gasoil entre otros. Por lo que todo apunta a que el principal causante de este problema sea el tráfico rodado, ya que según un informe del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) titulado *El calentamiento global en España*²⁶, Andalucía es la comunidad autónoma de España que mayor cantidad de gases emite a la atmósfera por este motivo, debido a la gran concentración de vehículos que circulan por sus carreteras, además de las actividades ganaderas y agrícolas (quema ilegal de rastrojos), todo esto supone la emisión de más de 700 millones de toneladas al año de CO, el gas contaminante que más abunda.

Podemos concluir afirmando que existe correlación entre concentración de CO e ingresos hospitalarios por enfermedad pulmonar, ya que hemos obtenido superaciones del periodo de estudio sobre el valor anual y mensual, es decir, VA/VM en el 35,6% del total de casos monitorizados, superaciones que en su mayor parte, concretamente en un 50% de los casos se corresponden con VA/VM de más del 75%.

Material particulado 2,5

Más relevante que el monóxido de carbono, quizás sea la presencia en la atmósfera de material particulado. Como se vió en anteriores apartados las PM_{2,5} son el grupo de partículas más nocivo para la salud del ser humano debido a su pequeño tamaño, ya que pueden penetrar muy profundamente en las vías respiratorias pudiendo incorporarse posteriormente al torrente sanguíneo con los consiguientes daños al organismo. No son pocos los estudios que correlacionan a este contaminante con el origen de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, estudios que han sido detallados ya en el apartado 1.3.

En cuanto a los valores fijados por normativa para la concentración de este contaminante, el encargado de su regulación es el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire ambiente. Los valores aquí fijados no son más que una transposición al ordenamiento jurídico español de los valores especificados en la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.

1) Valores objetivo y límite de material particulado 2,5 en condiciones ambientales para la protección de la salud.

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor</i>
Valor objetivo anual	1 año civil	25 µg/m³ , que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año
Valor límite anual (fase I)	1 año civil	25 µg/m³
Valor límite anual (fase II)	1 año civil	20 µg/m³

Tabla 14: Valor objetivo y límite de PM 2,5 para la protección de la salud. *Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.*

Según la metodología mencionada en el apartado de su mismo nombre, partiremos de un total de 184 pacientes que han sido ingresados en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla por patología pulmonar idiopática o no provocada. De los 184 pacientes ingresados, 79 de ellos no serán tenidos en cuenta en nuestro estudio ya que no responden a los criterios de calidad previamente establecidos que son, por un lado que la estación de referencia no se encuentre a una distancia superior a 6 Km del domicilio del paciente y por otro lado que la estación de referencia cuente con datos meteorológicos por los motivos ya detallados anteriormente, por lo que a la vista de estos criterios de calidad tendremos en cuenta 104 casos.

De los 104 casos, tendremos en cuenta 12 casos en los que llevaremos a cabo los dos análisis detallados anteriormente, por un lado se contabilizará el número de superaciones VA/VM, es decir el número de veces en los que el valor media del periodo de estudio supere a al valor media anual y mensual (VA/VM), por lo que dicho esto, de los 12 casos en 3 de ellos se ha obtenido VA /VM, suponiendo esto un 25%.

A continuación, se procederá a realizar el segundo análisis, clasificándose este último dato en una escala de valores prefijada donde se indica que porcentaje de superación ha tenido el valor media del periodo de estudio sobre el valor media anual y mensual. La escala de valores es la siguiente: 0-25% (Bajo), 25-50% (Medio), 50-75% (Elevado) y <75% (Muy elevado). En los 3 casos en los que se ha contabilizado VA/VM, el porcentaje de superación donde se ubican esos 3 casos se encuentra entre un 50-75% (Elevado), representado el 100% de los casos con superaciones.

En las siguientes tablas se muestra el total de casos monitorizados, el número de casos VA/VM y su respectivo porcentaje, así como la escala de umbrales junto al número de casos VA/VM y su porcentaje:

Contaminante	Casos monitorizados	Número casos VA/VM	%VA/VM
PM2,5	12	3	25%

Tabla 15: Casos monitorizados, número casos VA/VM y respectivo porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

Umbral	Número casos VA/VM	Porcentaje
0-25% (Bajo)	-	-
25-50% (Medio)	-	-
50-75% (Elevado)	3	100%
<75% (Muy elevado)	-	-

Tabla 16: Escala de umbrales de superación, número casos VA/VM y porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

Podríamos decir que en el caso de este contaminante también existe correlación entre concentración de contaminante e ingresos hospitalarios, ya que hemos contabilizado en 3 de los 12 casos VA/VM, lo que supone un 25% del total y en los 3 casos las superaciones en la concentración del contaminante han estado entre un 50-75% (Elevado).

Sabido es que las partículas es uno de los contaminantes más nocivos para la salud por su alto poder de penetración en el organismo sobre todo aquellas con un diámetro igual o inferior a 10 micras. Según la OMS⁵, la exposición crónica a las partículas agrava el riesgo de desarrollar cardiopatías y neumopatías, así como cáncer de pulmón, existiendo una estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas (PM10 y PM2,5) y el aumento de la mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo. A la inversa, cuando las concentraciones de partículas son reducidas, la mortalidad conexas también desciende, en el supuesto de que otros factores se mantengan sin cambios.

En las *Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire*²³ se estima que una reducción media anual de las concentraciones de partículas (PM10) de 70 microgramos/m³, común en muchas ciudades en desarrollo, a 20 microgramos/m³, permitiría reducir el número de defunciones relacionadas con la contaminación en aproximadamente un 15%. Sin embargo, incluso en la Unión Europea, donde las concentraciones de PM de muchas ciudades cumplen los niveles fijados en las Directrices, se estima que la exposición a partículas de origen antropogénico reduce la esperanza media de vida en 8,6 meses.

Un estudio realizado por un equipo multicéntrico coordinado por la universidad de Nueva York, ha valorado el impacto de micropartículas en un gran número de ciudades en Estados Unidos analizándose los datos de al menos 500000 personas entre 1982 y 1998 que participaron en un estudio sobre el cáncer. Se calculó que el número de muertes por cáncer de pulmón aumenta un 8% por cada 10 microgramos/m³ de micropartículas. Las partículas de mayor tamaño y la polución gaseosa no se asociaban a un mayor número de muertes. Parece que el aumento del riesgo de cáncer de pulmón producido por la contaminación es claramente menor que el riesgo asociado con el tabaquismo activo. Sin embargo, se ha visto que el riesgo de morir a consecuencia de un cáncer de pulmón en las ciudades con un índice elevado de contaminación es similar al riesgo de los fumadores pasivos (Arden Pope, et.al, 2002)²¹.

Así pues, los hallazgos de este estudio proporcionan una gran evidencia sobre la relación existente entre la exposición prolongada a micropartículas contaminantes en las áreas metropolitanas y un importante riesgo de mortalidad pulmonar.

Mediante datos del estudio europeo de cohortes sobre los efectos de la contaminación del aire (ESCAPE-European Study of Cohorts for Air Pollution Effects), coordinado por la Universidad de Utrecht en los Países Bajos, un equipo de investigadores ha realizado un metaanálisis de 17 estudios de cohortes en nueve países europeos, con casi 313000 personas. El nuevo estudio, publicado en *The Lancet Oncology*²², revela que 2095 de los participantes desarrollaron cáncer de pulmón durante los 13 años de seguimiento. Así, por cada aumento de 5 µg/m³ de contaminación de partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM2,5), el riesgo de cáncer de pulmón aumentó en un 18%.

Según las *Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire*²³, una concentración media anual de PM2,5 de 35 µg/m³ está asociada con un riesgo de mortalidad a largo plazo alrededor de un 15% mayor que con el nivel de las GCA(guía de calidad del aire) que se corresponde con 10 µg/m³, esta última concentración constituiría los niveles más bajos con los cuales se ha demostrado, con más del 95% de confianza, que la mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer de pulmón, aumenta en respuesta a la exposición prolongada. Una concentración de 25 µg/m³ además de otros beneficios

para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad prematura en un 6% aproximadamente [2-11%] en comparación con una concentración de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por su parte, una concentración de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ reduciría el riesgo de mortalidad en un 6% [2-11%] aproximadamente en comparación con una concentración de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Según la OMS⁵, la contaminación por partículas conlleva efectos sanitarios incluso en muy bajas concentraciones; de hecho, no se ha podido identificar ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud, premisa ratificada por Mark Nieuwenhuijsen, investigador responsable del programa de Contaminación Atmosférica del CREAL, de la alianza ISGlobal, quien cita textualmente 'La asociación entre la contaminación por partículas del aire y el riesgo de cáncer de pulmón persiste en concentraciones por debajo de los valores límite de calidad del aire de PM10 y PM2,5 de la Unión Europea. No hemos encontrado un umbral por debajo del cual no hay riesgo'.

En el caso de las PM2,5 también hemos encontrado correlación entre la concentración de este contaminante e ingresos hospitalarios, ya que en un 25% de los casos hemos obtenido VA/VM. Quizás un aspecto importante a resaltar es la capacidad de este contaminante de provocar daños al organismo aun estando los valores en la concentración del mismo por debajo de los valores límites legislados, no encontrándose ningún valor por debajo del cual no existan riesgos para la salud.

Material particulado 10

Aquellas partículas cuyo diámetro es inferior a 10 μm , son las denominadas PM10, que son las que presentan una mayor capacidad de acceso a las vías respiratorias y por lo tanto mayor afección a las mismas. Dentro de la fracción PM10, las partículas más pequeñas (menores de 2,5 μm , PM2,5) se depositan en los alvéolos, la parte más profunda del sistema respiratorio, quedando atrapadas y pudiendo generar efectos más severos sobre la salud que las PM10 por su mayor poder de penetración. Algunas de las fuentes emisoras de partículas son las cementeras, grandes instalaciones de combustión, incineración y co-incineración de residuos y el transporte.

En cuanto a los valores fijados por normativa para la concentración de este contaminante, el encargado de su regulación es el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire ambiente. Los valores aquí fijados no son más que una transposición al ordenamiento jurídico español de los valores especificados en la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europea.

1) Valor límite de material particulado 10 en condiciones ambientales para la protección de la salud.

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor</i>
Valor límite diario	24 horas	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año
Valor límite anual	1 año civil	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 17: Valor límite de PM10 para la protección de la salud. *Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.*

Según la metodología mencionada en el apartado de su mismo nombre, partiremos de un total de 184 pacientes que han sido ingresados en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla por patología pulmonar idiopática o no provocada. De los 184 pacientes ingresados, 79 de ellos no serán tenidos en cuenta en nuestro estudio ya que no responden a los criterios de calidad previamente establecidos que son, por un lado que la estación de referencia no se encuentre a una distancia superior a 6 Km del domicilio del paciente y por otro lado que dicha estación de referencia monitorice parámetros meteorológicos (dirección y velocidad del viento), por lo que a la vista de estos criterios de calidad tendremos en cuenta 104 casos.

De los citados 104 casos, se ha medido esta sustancia en 78 pacientes. A partir de estos 78 casos llevaremos a cabo los dos análisis detallados anteriormente, por un lado se contabilizará el número de VA/VM, es decir el número de veces en los que el valor media del periodo de estudio supere a al valor media anual y mensual (VA/VM), por lo

que dicho esto, de los 78 casos en 13 de ellos se ha obtenido VA/VM, lo que supone en porcentaje un 16,6%.

A continuación, se procederá a realizar el segundo análisis, clasificándose este último dato en una escala de valores prefijada donde se indica el porcentaje de superación de VA/VM. La escala de valores es la siguiente: 0-25% (Bajo), 25-50% (Medio), 50-75% (Elevado) y >75% (Muy elevado). De los 13 casos, en 1 de ellos la superación ha estado entre el 25-50% (Medio), en otros 5 casos entre el 50-75% (Elevado) y en la mayor parte, en concreto en 7 casos hemos obtenido una superación de más del 75% (Muy elevado).

En las siguientes tablas se muestra el total de casos monitorizados, el número de casos VA/VM y su respectivo porcentaje, así como la escala de umbrales junto al número de casos VA/VM y su porcentaje:

Contaminante	Casos monitorizados	Número casos VA/VM	%VA/VM
PM10	78	13	16,6%

Tabla 18: Casos monitorizados, número casos VA/VM y respectivo porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

Umbral	Número casos VA/VM	Porcentaje
0-25% (Bajo)	-	-
25-50% (Medio)	1	7,69%
50-75% (Elevado)	5	38,46%
>75% (Muy elevado)	7	53,85%

Tabla 19: Escala de umbrales de superación, número casos VA/VM y porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

Sabido es que las partículas es uno de los contaminantes más nocivos para la salud por su alto poder de penetración en el organismo sobre todo aquellas con un diámetro igual o inferior a 10 micras. Según la OMS, la exposición crónica a las partículas agrava el riesgo de desarrollar cardiopatías y neumopatías, así como cáncer de pulmón,

existiendo una estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas (PM10 y PM2,5) y el aumento de la mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo. A la inversa, cuando las concentraciones de partículas son reducidas, la mortalidad conexas también desciende, en el supuesto de que otros factores se mantengan sin cambios.

En las *Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire*²³ se estima que una reducción media anual de las concentraciones de partículas (PM10) de 70 microgramos/m³, común en muchas ciudades en desarrollo, a 20 microgramos/m³, permitiría reducir el número de defunciones relacionadas con la contaminación en aproximadamente un 15%. Sin embargo, incluso en la Unión Europea, donde las concentraciones de PM de muchas ciudades cumplen los niveles fijados en las Directrices, se estima que la exposición a partículas de origen antropogénico reduce la esperanza media de vida en 8,6 meses.

Otro estudio realizado por un equipo multicéntrico coordinado por la universidad de Nueva York, ha valorado el impacto de micropartículas en un gran número de ciudades en Estados Unidos analizándose los datos de al menos 500000 personas entre 1982 y 1998 que participaron en un estudio sobre el cáncer. Se calculó que el número de muertes por cáncer de pulmón aumenta un 8% por cada 10 microgramos/m³ de micropartículas. Las partículas de mayor tamaño y la polución gaseosa no se asociaban a un mayor número de muertes. Parece que el aumento del riesgo de cáncer de pulmón producido por la contaminación es claramente menor que el riesgo asociado con el tabaquismo activo. Sin embargo, se ha visto que el riesgo de morir a consecuencia de un cáncer de pulmón en las ciudades con un índice elevado de contaminación es similar al riesgo de los fumadores pasivos (Arden Pope, et.al, 2002)²¹.

Así pues, los hallazgos de este estudio proporcionan una gran evidencia sobre la relación existente entre la exposición prolongada a micropartículas contaminantes en las áreas metropolitanas y un importante riesgo de mortalidad pulmonar.

Mediante datos del estudio europeo de cohortes sobre los efectos de la contaminación del aire (ESCAPE-European Study of Cohorts for Air Pollution Effects), coordinado por la Universidad de Utrecht en los Países Bajos, un equipo de investigadores ha realizado un metaanálisis de 17 estudios de cohortes en nueve países europeos, con casi 313000 personas. El nuevo estudio, publicado en *The Lancet Oncology*²², revela que 2095 de los participantes desarrollaron cáncer de pulmón durante los 13 años de seguimiento. Además, los autores comprobaron que por cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la contaminación por partículas de diámetro inferior a 10 micras (PM10) el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón aumentó un 22%, con efectos más fuertes en los adenocarcinomas.

Según la OMS⁵, la contaminación por partículas conlleva efectos sanitarios incluso en muy bajas concentraciones; de hecho, no se ha podido identificar ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud, premisa ratificada por Mark Nieuwenhuijsen, investigador responsable del programa de Contaminación Atmosférica del CREAL, de la alianza ISGlobal, quien cita textualmente 'La asociación entre la contaminación por partículas del aire y el riesgo de cáncer de pulmón persiste en concentraciones por debajo de los valores límite de calidad del aire de PM10 y PM2,5 de la Unión Europea. No hemos encontrado un umbral por debajo del cual no hay riesgo'.

Según las *Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire*²³, una concentración media anual de PM10 de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ está asociada con un riesgo de mortalidad a largo plazo alrededor de un 15% mayor que con el nivel de las GCA(guía de calidad del aire) que se corresponde con $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esta última concentración constituiría los niveles más bajos con los cuales se ha demostrado, con más del 95% de confianza, que la mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer de pulmón, aumenta en respuesta a la exposición prolongada. Una concentración de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad prematura en un 6% aproximadamente [2-11%] en comparación con una concentración de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por su parte, una concentración de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reduciría el riesgo de mortalidad en un 6% [2-11%] aproximadamente en comparación con una concentración de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Podríamos concluir afirmando que en este caso al igual que en los dos anteriores existe correlación entre concentración de contaminantes en este caso de PM10 e ingresos hospitalarios, ya que hemos contabilizado en 13 de los 78 casos, VA/VM lo que supone un 16,6% del total y en la mayor parte, concretamente en 7 de ellos las superaciones en la concentración del citado contaminante ha sido superior al 75% (Muy elevado). Como en el caso de las PM2,5 incluso cumpliéndose los valores límites legislados existe riesgo para la salud de la población, existiendo estudios como el que hemos descrito anteriormente afirmando que un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de PM10 aumenta en un 22% el riesgo de sufrir cáncer de pulmón. No obstante cabe señalar que las concentraciones para provocar los mismos daños sobre la salud de PM10 son más elevadas que las de PM2,5, dilucidando que estas últimas presentan mayores riesgos para la salud al poseer un tamaño menor y por lo tanto mayor poder de penetración en el organismo.

Dióxido de azufre

Los óxidos de azufre (SO_x) son un conjunto de gases compuestos por trióxido de azufre (SO_3) y dióxido azufre (SO_2), aunque este es el más común, ya que el SO_3 es solo un intermediario en la formación de ácido sulfúrico (H_2SO_4). En conjunto más de la mitad de las emisiones de SO_x que llegan a la atmósfera proceden de fuentes antropogénicas, sobre todo por la combustión de algunos combustibles fósiles como el carbón y el petróleo. El SO_2 es un gas irritante y tóxico, la exposición a altas concentraciones durante cortos periodos de tiempo puede causar bronquitis, irritación del tracto respiratorio entre otras enfermedades de índole respiratoria.

En cuanto a los valores fijados por normativa para la concentración de este contaminante, el encargado de su regulación es el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire ambiente. Los valores aquí fijados no son más que una transposición al ordenamiento jurídico español de los valores especificados en la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europea.

1) Valor límite de dióxido de azufre para la protección de la salud.

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor</i>
Valor límite horario	1 hora	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que no podrá superarse en más de 24 ocasiones por año civil
Valor límite diario	24 horas	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil.

Tabla 20: Valor límite de dióxido de azufre para la protección de la salud. *Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.*

2) Umbral de alerta de dióxido de azufre.

El valor correspondiente al umbral de alerta del dióxido de azufre se sitúa en **500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Se considerará superado cuando durante tres horas consecutivas se exceda dicho valor cada hora, en lugares representativos de la calidad del aire en un área de, como mínimo, 100 km^2 o en una zona o aglomeración entera, tomando la superficie que sea menor.

Según la metodología mencionada en el apartado de su mismo nombre, partiremos de un total de 184 pacientes que han sido ingresados en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla por patología pulmonar idiopática o no provocada. De los 184 pacientes ingresados, 79 de ellos no serán tenidos en cuenta en nuestro estudio ya que no responden a los criterios de calidad previamente establecidos que son, por un lado que la estación de referencia no se encuentre a una distancia superior a 6 Km del domicilio del paciente y por otro lado que dicha estación de referencia posea datos relacionados con parámetros meteorológicos (dirección y velocidad del viento), por lo que a la vista de estos criterios de calidad tendremos en cuenta 104 casos.

De los citados 104 casos, se ha medido esta sustancia en tan solo 84 pacientes. A partir de estos 84 casos llevaremos a cabo los dos análisis detallados anteriormente, por un lado se contabilizará el número de VA/VM, es decir el número de veces en los que el valor media del periodo de estudio supere al valor media anual y mensual (VA/VM),

por lo que dicho esto, de los 84 casos en 28 de ellos se ha obtenido VA/VM, suponiendo un 33,3%.

A continuación, se procederá a realizar el segundo análisis, clasificándose este último dato en una escala de valores prefijada donde se indica el porcentaje de superación de VA/VM. La escala de valores es la siguiente: 0-25% (Bajo), 25-50% (Medio), 50-75% (Elevado) y <75% (Muy elevado). De los 28 casos, la mayor parte, en concreto 15 se sitúan en el umbral entre 50-75% (Elevado), 11 en <75% (Muy elevado), mientras que los otros 2 se encuentran entre 25-50% (Medio).

En las siguientes tablas se muestra el total de casos monitorizados, el número de casos VA/VM y su respectivo porcentaje, así como la escala de umbrales junto al número de casos VA/VM y su porcentaje:

Contaminante	Casos monitorizados	Número casos VA/VM	%VA/VM
SO₂	84	28	33,3%

Tabla 21: Casos monitorizados, número casos VA/VM y respectivo porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

Umbral	Número casos VA/VM	Porcentaje
0-25% (Bajo)	-	-
25-50% (Medio)	2	7,14%
50-75% (Elevado)	15	53,57%
<75% (Muy elevado)	11	39,28%

Tabla 22: Escala de umbrales de superación, número casos VA/VM y porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

Podríamos decir que en el caso de este contaminante existe correlación entre la concentración del mismo de contaminantes e ingresos hospitalarios, ya que hemos contabilizado de los 78 casos en los que se ha monitorizado este contaminante VA/VM en 28 de ellos lo que supone un 33,3% del total. Es el segundo contaminante después

del CO en el que hemos obtenido mayor número de superaciones del valor media del periodo de estudio sobre el valor media anual y mensual.

Se reconoce al azufre como un contaminante capaz de causar daño severo a la salud de las personas, en especial entre los infantes, los ancianos y los asmáticos (CONAMA, 2001).

La concentración de SO₂ en períodos promedio de 10 minutos no debería superar los 500 µg/m³. Los estudios indican que un porcentaje de las personas con asma experimenta cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios tras períodos de exposición al SO₂ de tan sólo 10 minutos (OMS, 2014)⁵.

La revisión de la directriz referente a la concentración de SO₂ en 24 horas, que ha descendido de 125 a 20 µg/m³, se basa en las siguientes consideraciones:

- Los efectos nocivos sobre la salud están asociados a niveles de SO₂ muy inferiores a los aceptados hasta ahora.
- Se requiere mayor grado de protección.
- Pese a las dudas que plantea todavía la causalidad de los efectos de bajas concentraciones de SO₂, es probable que la reducción de las concentraciones disminuya la exposición a otros contaminantes (OMS, 2014)⁵.

Los niveles de SO₂ durante 24 horas estaban significativamente asociados con las tasas de mortalidad diaria en 12 ciudades canadienses en las que la concentración media era de sólo 5 µg/m³ (el nivel medio más alto de SO₂ fue inferior a 10 µg/m³) (Burnett et al., 2004)²⁵. En el estudio de la Sociedad Americana del Cáncer (ACS), se observó una asociación significativa entre el SO₂ y la mortalidad para la cohorte de 1982-1988 en 126 zonas metropolitanas de los Estados Unidos en las que la concentración media registrada de SO₂ era de 18 µg/m³ y la media más alta de 85 µg/m³ (Pope et al., 2002)²⁴.

También para el dióxido de azufre encontramos correlación entre concentración de este contaminante e ingresos hospitalarios. En un 33,3% de los casos monitorizados hay superaciones del valor media del periodo de estudio sobre el valor media anual y

mensual (VA/VM), valor superado solo por el monóxido de carbono con un 35,6%. Además las superaciones se encuentra en un 53,57% entre un 50-75% (Elevado).

Óxidos de nitrógeno

Como se ha visto en capítulos anteriores, el término general de óxidos de nitrógeno abarca tanto al óxido nítrico como al dióxido de nitrógeno, ambos son los únicos óxidos de nitrógeno presentes en la atmósfera e introducidos por el hombre. La principal fuente emisora de óxidos de nitrógeno son los vehículos. En lo que a la protección de la salud humana se refiere, es el dióxido de nitrógeno el único que tiene fijados valores límite para exposiciones de larga y corta duración. Una exposición breve a este gas puede provocar irritación del sistema respiratorio y ocular, aparición de enfermedades respiratorias crónicas y cerebrovasculares y desarrollo pulmonar más lento en niños.

En cuanto a los valores fijados por normativa para la concentración de este contaminante, el encargado de su regulación es el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire ambiente. Los valores aquí fijados no son más que una transposición al ordenamiento jurídico español de los valores especificados en la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europea.

1) Valor límite del dióxido de nitrógeno para la protección de la salud.

	<i>Periodo de promedio</i>	<i>Valor</i>
Valor límite horario	1 hora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 que no podrán superarse en más de 18 ocasiones por año civil.
Valor límite diario	1 año civil	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2

Tabla 23: Valor límite de dióxido de nitrógeno para la protección de la salud. *Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.*

2) Umbral de alerta del dióxido de nitrógeno.

El valor correspondiente al umbral de alerta del dióxido de nitrógeno se sitúa en **400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Se considerará superado cuando durante tres horas consecutivas se exceda dicho valor cada hora en lugares representativos de la calidad del aire en un área de, como mínimo, 100 km² o en una zona o aglomeración entera, tomando la superficie que sea menor.

Según la metodología propuesta en nuestro estudio, partiremos de un total de 184 pacientes los cuales han sido ingresados en la unidad médico quirúrgica de enfermedades respiratorias del hospital virgen del Rocío de Sevilla por presentar diversas patologías del aparato respiratorio cuya causa es de origen desconocido (idiopático). Del total de pacientes ingresados, 79 de ellos nos los tendremos en cuenta para llevar a cabo nuestro estudio ya que constituyen casos no representativos al no cumplir los criterios de calidad que previamente hemos establecido, que son los siguientes: por un lado la estación de referencia deberá estar a una distancia no superior a 6Km del domicilio del paciente y por otro lado, dicha estación de referencia monitorice dirección y velocidad del viento. No basta con cumplir una de las premisas para formar parte de nuestro estudio, habrán de cumplir ambas.

Una vez desechados los 79 casos que no responden a los nombrados criterios de calidad, nos quedaríamos con 104 casos que serían los casos representativos, con los que trabajaremos y de los que obtendremos las posteriores conclusiones. De los 104 casos representativos, el dióxido de nitrógeno se ha medido en 107 de los casos, este último número es superior debido a que en tres de los pacientes se han utilizado datos de dos estaciones remotas al cumplir ambas los criterios de calidad. A continuación, del total de casos representativos (107) hemos contabilizado un total de 11 superaciones del valor medio del periodo de estudio sobre los valores medio anual y mensual (VA/VM), lo que representa un 10,3% del total de casos en los que se ha medido este contaminante. Si bien el número de VA/VM no es muy elevado, en la mayor parte de los casos, en concreto en 9 de ellos el porcentaje de superación de VA/VM ha estado por encima del 75% (Muy elevado), mientras que en los 2 restantes la superación ha sido de entre el 50-75% (Elevado).

En las siguientes tablas se muestra el total de casos monitorizados, el número de casos VA/VM y su respectivo porcentaje, así como la escala de umbrales junto al número de casos VA/VM y su porcentaje:

Contaminante	Casos monitorizados	Número casos VA/VM	%VA/VM
NO₂	107	11	10,3%

Tabla 24: Casos monitorizados, número casos VA/VM y respectivo porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

Umbral	Número casos VA/VM	Porcentaje
0-25% (Bajo)	-	-
25-50% (Medio)	-	-
50-75% (Elevado)	2	18,2%
<75% (Muy elevado)	9	81,8%

Tabla 25: Escala de umbrales de superación, número casos VA/VM y porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

Los efectos del NO₂ en la salud humana se centran sobre todo en el aparato respiratorio, habiéndose observado que cuando se supera una concentración media de NO₂ de 190 µg/Nm³ (0,1 ppm) en el 40% de los días, aumenta la frecuencia de las infecciones de las vías respiratorias. Sin embargo, se ha comprobado que se necesitan concentraciones superiores a 1880 µg/m³ (1 ppm) para producir daños en adultos sanos. Estas concentraciones son muy elevadas, por lo tanto, la mayoría de los estudios se han centrado en estudiar los efectos del NO₂ en personas con enfermedades respiratorias preexistentes²⁸.

Los asmáticos son especialmente sensibles a los efectos del NO₂, se ha encontrado que el 70% de los asmáticos responden a concentraciones más bajas que las personas sanas (90-560 µg/m³ (0,05-0,3 ppm) frente a mayor de 1880 µg/m³ (1 ppm) en personas sanas). Existen numerosos estudios realizados con personas que sufren asma, enfermedades crónicas obstructoras del pulmón y bronquitis crónicas que han

demostrado efectos a bajas concentraciones de NO₂. Estos efectos son reducción del volumen forzado de expiración o incrementos en la resistencia de las vías respiratorias. Se ha encontrado respuestas en la función pulmonar bajo exposiciones de 560 µg/m³ (0,3 ppm) en asmáticos realizando ejercicio moderado²⁸.

Estudios realizados con niños, muestran la aparición de síntomas leves respiratorios en concentraciones promedio de 14 µg/m³ (0,01 ppm)²⁸.

Según la OMS⁵, como contaminante atmosférico, el NO₂ puede correlacionarse con varias actividades: En concentraciones de corta duración superiores a 200 mg/m³, es un gas tóxico que causa una importante inflamación de las vías respiratorias.

Tras haber obtenido los resultados de nuestro estudio, podríamos concluir diciendo que al igual que en los anteriores casos existe correlación entre concentración de este contaminante e ingresos hospitalarios. Si bien es el contaminante donde hemos obtenido un menor número de superaciones del valor media del periodo de estudio sobre el valor media anual y mensual (VA/VM).

Ozono

El ozono puede tener un origen natural (descargas eléctricas, procesos de fermentación, etc) o tener un origen antropogénico, siendo este más relevante que aquel, sobre todo cuando se genera como contaminante secundario. Al constituir un contaminante secundario, los precursores en su formación más relevantes son los NO_x y los COV. Quizás el ozono junto con las partículas en suspensión sean los contaminantes que más daños causan a la salud de las personas.

En cuanto a los valores fijados por normativa para la concentración de este contaminante, el encargado de su regulación es el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire ambiente. Los valores aquí fijados no son más que una transposición al ordenamiento jurídico español de los valores especificados en la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europea.

1) Valor objetivo y objetivo a largo plazo para el ozono para la protección de la salud humana.

Objetivo	Parámetro	Valor
Valor objetivo para la protección de la salud humana	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	120 µg/m³ que no deberá superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un período de 3 años
Objetivo a largo plazo para la protección de la salud humana	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias en un año civil	120 µg/m³

Tabla 26: Valor objetivo y objetivo a largo plazo de ozono para la protección de la salud.

Fuente: Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.

2) Umbrales de información y de alerta para el ozono.

	Parámetro	Umbral
Umbral de información	Promedio horario	180 µg/m³
Umbral de alerta	Promedio horario	240 µg/m³

Tabla 27: Umbral de información y alerta de ozono para la protección de la salud. *Fuente:*

Boletín Oficial del Estado núm. 25 de 29 de Enero de 2011.

Según la metodología propuesta en nuestro estudio, partiremos de un total de 184 pacientes los cuales han sido ingresados en la unidad medico quirúrgica de enfermedades respiratorias del hospital virgen del Rocío de Sevilla por presentar diversas patologías del aparato respiratorio cuya causa es de origen desconocido (idiopático). Del total de pacientes ingresados, 79 de ellos nos los tendremos en cuenta para llevar a cabo nuestro estudio ya que constituyen casos no representativos al no cumplir los criterios de calidad que previamente hemos establecido, que son los

siguientes: por un lado la estación de referencia deberá estar a una distancia no superior a 6 Km del domicilio del paciente y por otro lado, dicha estación de referencia deberá monitorizar velocidad y dirección del viento.

Una vez desechados los 79 casos que no responden a los nombrados criterios de calidad, nos quedaríamos con 104 casos que serían los casos representativos, con los que trabajaremos y de los que obtendremos las posteriores conclusiones.

Según la metodología mencionada en el apartado de su mismo nombre, partiremos de un total de 184 pacientes que han sido ingresados en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla por patología pulmonar idiopática o no provocada. De los 184 pacientes ingresados, 79 de ellos no serán tenidos en cuenta en nuestro estudio ya que no responden a los criterios de calidad previamente establecidos que son, por un lado que la estación de referencia no se encuentre a una distancia superior a 6 Km del domicilio del paciente y por otro lado que dicha estación de referencia se encuentre en la dirección de los vientos dominantes, por lo que a la vista de estos criterios de calidad tendremos en cuenta 104 casos.

De los citados 104 casos, se ha medido esta sustancia en 85 pacientes. A partir de estos 85 casos llevaremos a cabo los dos análisis detallados anteriormente, por un lado se contabilizará el número de VA/VM, es decir el número de veces en los que el valor media del periodo de estudio supere al valor media anual y mensual (VA/VM), por lo que dicho esto, de los 85 casos en 20 de ellos se ha obtenido VA/VM, lo que supone en porcentaje un 23,5%.

A continuación, se procederá a realizar el segundo análisis, clasificándose este último dato en una escala de valores prefijada donde se indica el porcentaje de superación de VA/VM. La escala de valores es la siguiente: 0-25% (Bajo), 25-50% (Medio), 50-75% (Elevado) y >75% (Muy elevado). De los 20 casos, en 17 casos hemos obtenido una superación de más del 75% (Muy elevado), mientras que en 3 la superación ha estado entre el 50-75% (Elevado).

En las siguientes tablas se muestra el total de casos monitorizados, el número de casos VA/VM y su respectivo porcentaje, así como la escala de umbrales junto al número de casos VA/VM y su porcentaje:

Contaminante	Casos monitorizados	Número casos VA/VM	%VA/VM
O₃	85	20	23,5%

Tabla 28: Casos monitorizados, número casos VA/VM y respectivo porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

Umbral	Número casos VA/VM	Porcentaje
0-25% (Bajo)	-	-
25-50% (Medio)	-	-
50-75% (Elevado)	3	15%
<75% (Muy elevado)	17	85%

Tabla 29: Escala de umbrales de superación, número casos VA/VM y porcentaje. *Fuente: Elaboración propia.*

Según la OMS, el exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares. Actualmente se trata de uno de los contaminantes atmosféricos que más preocupan en Europa. Diversos estudios europeos han revelado que la mortalidad diaria y mortalidad por cardiopatías aumentan un 0,3% y un 0,4% respectivamente con un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de ozono (OMS, 2014)⁵.

Los estudios epidemiológicos apuntan que la exposición a ozono está asociada con una exacerbación del asma, con un aumento del uso de medicamentos para combatir el mismo así como un incremento de ingresos hospitalarios (Dávila et al., 2007)¹⁶. La exposición a corta duración a una concentración punta de ozono puede afectar de forma temporal a los pulmones, el tracto respiratorio y los ojos. También puede aumentar la susceptibilidad a los alérgenos respiratorios. Una exposición prolongada a

concentraciones de ozono relativamente bajas también puede provocar una disminución de la función pulmonar (Matute y González, 2011)¹⁷.

Podríamos concluir afirmando que en este caso al igual que en los anteriores existe correlación entre concentración de contaminantes en este caso por O₃ e ingresos hospitalarios, ya que hemos contabilizado VA/VM en 20 de los 85 casos monitorizados, lo que supone un 23,5% del total y en la mayor parte, concretamente en 17 de ellos las superaciones en la concentración de contaminantes ha sido superior al 75% (Muy elevado).

6.2 Resultados generales

Un hecho de enorme relevancia a tener en cuenta y que cabe destacar, es la diferencia entre la exposición habitual y la exposición incidental de un individuo a una determinada concentración de contaminante, en este caso nos referiremos a contaminantes atmosféricos, más concretamente a SO₂, NO₂, O₃, PM_{2,5}, PM₁₀ y CO. En la actualidad el ser humano está expuesto diariamente a unas determinadas concentraciones de contaminantes, que en muchas ocasiones pueden ser perjudiciales para su salud, por lo que la totalidad de la población estará expuesta a lo que denominaremos como exposición habitual a un determinado contaminante. En algunos momentos dichas concentraciones pueden sobrepasar los valores habituales lo que denominaremos como exposición incidental a un determinado contaminante.

Que las concentraciones habituales para un contaminante concreto se sobrepasen no quiere decir que se superen los valores límites legislados, es mas en muchas ciudades como es el caso que nos ocupa, la ciudad de Sevilla así como su área metropolitana rara vez sobrepasa las concentraciones de los valores límites legislados, sin embargo en muchas ocasiones el valor habitual en la concentración de un contaminante se sobrepasa en porcentajes muy altos llegando incluso a triplicar dicho valor, aunque estos últimos sigan sin superar los valores legislados.

Sabido y demostrados en estudios científicos son los casos en los que existe una correlación entre enfermedad pulmonar y niveles de concentración de contaminantes que superan los valores límites legislados, pero hay otro porcentaje de individuos que no están expuestos a concentraciones que superen los valores legislados y sin embargo ingresan en el hospital por patologías pulmonares de las cuales se desconoce su origen, son de estos últimos casos de los que nos ocupamos en nuestro estudio.

Si bien, existen dos casos claramente diferenciados y que merece la pena poner en valor. En algunas ocasiones las concentraciones a las que se expone un individuo de forma habitual a un determinado agente contaminante están muy cerca del valor límite legislado, si por algún motivo o razón dicho individuo se expone incidentalmente a una concentración que iguala o supera en muy pequeña medida el valor límite

legislado, este caso será evidentemente perjudicial para la persona ocasionándole problemas de salud (caso 1). Pero si por el contrario el mismo individuo está expuesto habitualmente a una concentración muy baja de un determinado contaminante, sin superar dicho valor el legislado, y de forma incidental se expone a una concentración que triplica la habitual aun sin superarse el valor límite legislado y aun estando muy por debajo de este último, este individuo podría sufrir mayores problemas de salud que el individuo del caso 1.

De este hecho, se deduce que no solo concentraciones de un determinado contaminante por encima del límite legislado provoca daños a la salud de la población, hecho más que probado en estudios científicos, sino que un problema de enorme relevancia y que a menudo no se tiene en cuenta, son las subidas bruscas en la concentración de un contaminante aunque esta no llegue a superar el límite legislado, pudiendo incluso llegar a provocar mayores problemas de salud. Es más, para el caso de contaminantes como PM_{2,5} y PM₁₀ hay estudios que afirman que ocasionan problemas de salud incluso a valores por debajo de los permitidos por la legislación.

Tras haber analizado de forma detallada cada uno de los 6 contaminantes estudiados, hemos obtenido en todos ellos casos VA/VM en mayor o menor medida, siendo los porcentajes de superación de esos valores superiores al 75% (Muy elevado) en la mayor parte de los casos.

Si nos centramos en primer lugar en las superaciones del valor media del periodo de estudio sobre los valores media anual y mensual (VA/VM), es el monóxido de carbono el que obtiene mayores superaciones con un 35,6%, seguido muy de cerca por el dióxido de azufre con un 33,3%, le siguen el material particulado 2,5 con un 25%, el ozono con un 23,5% y en los últimos lugares se encuentran el material particulado 10 con un 16,6% y el dióxido de nitrógeno con un 10,3%.

Contaminantes	Casos monitorizados	Número casos VA/VM	%VA/VM
PM 10	78	13	16,6
SO₂	84	28	33,3
NO₂	107	11	10,3
O₃	85	20	23,5
PM 2,5	12	3	25
CO	73	26	35,6

Tabla 30: Relación de contaminantes con los respectivas casos VA/VM. *Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, se muestra un gráfico donde se relaciona el total de casos monitorizados así como el número de VA/VM obtenido para cada contaminante estudiado.

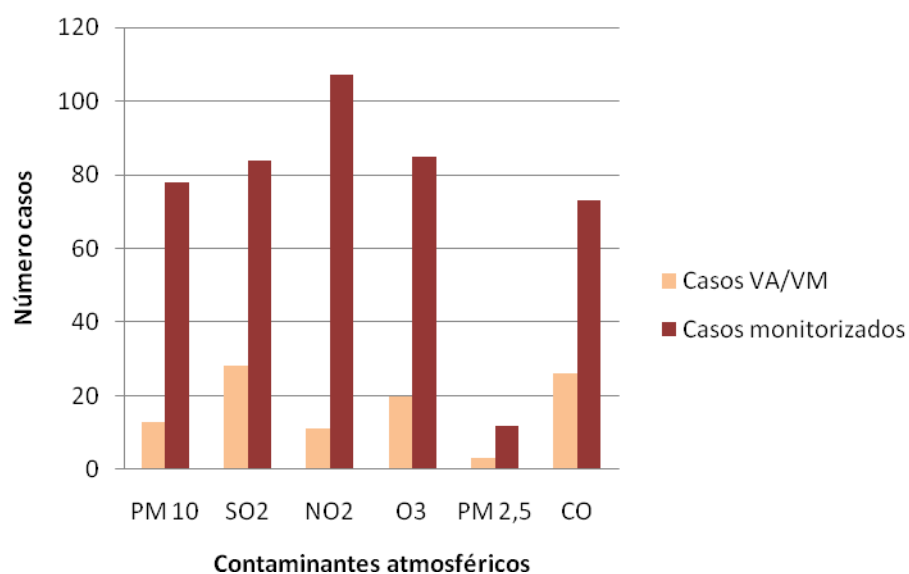


Gráfico 2: Total de casos monitorizados y superaciones VA/VM por contaminante. *Fuente: Elaboración propia.*

Este otro gráfico, representa en porcentaje los casos VA/VM obtenidos sobre el total de casos monitorizados por contaminante.

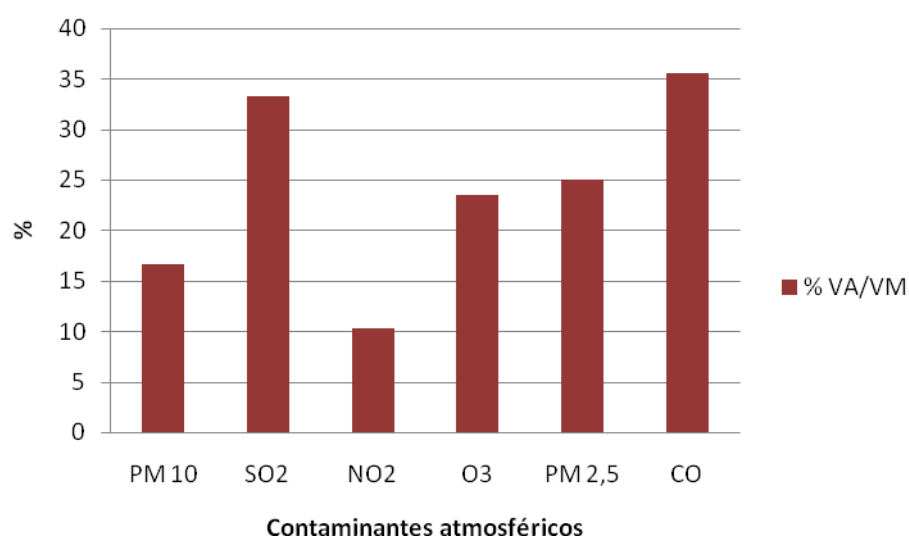


Gráfico 3: Total de casos monitorizados y superaciones VA/VM por contaminante. *Fuente: Elaboración propia.*

A la vista de estos resultados, podemos afirmar que en todos los contaminantes sin excepción se obtienen VA/VM y que por lo tanto este hecho da a entender que el paciente habiendo estado expuesto habitualmente a una concentración 'x' del contaminante, el mes anterior a la fecha de referencia (fecha de comienzo de los síntomas) dicho paciente ha estado expuesto a una concentración incidental del contaminante que en la mayor parte de los casos no supera el límite legislado y que este hecho le ha ocasionado su ingreso en el hospital.

Podríamos decir que para los 6 contaminantes estudiados existe correlación entre concentración de contaminantes e ingresos hospitalarios haciendo uso de la metodología detallada en el apartado 5. Esta correlación es más relevante en contaminantes como el monóxido de carbono o el dióxido de azufre debido a que el número de superaciones (VA/VM) es mayor mientras que para el dióxido de nitrógeno esta asociación es significativamente menor.

Otro punto a tener en cuenta y no menos importante para completar nuestro estudio, es el porcentaje en el que el valor media del periodo de estudio supera al valor media

anual y mensual (VA/VM). En aquellos casos en los que obtenemos VA/VM la mayor parte de los porcentajes de superación se encuentran por encima del 75% (Muy elevado) en todos los contaminantes, a excepción de PM_{2,5} cuyos casos con superaciones se encuentran entre el 50-75% (Elevado). Para el SO₂ las superaciones por encima del 75% (Muy elevado) se corresponden con un 39,28%. Para el caso de las PM₁₀ y el CO el porcentaje de superación que se corresponde a <75% (Muy elevado) asciende al 53,85% y 50% respectivamente, mientras que para el O₃ y el NO₂ se obtienen los valores más altos, al representar un 85% y un 81,8% respectivamente las superaciones que se corresponden con <75% (Muy elevado).

Como se ha visto para la totalidad de los contaminantes hay que tener muy presente que aunque no se superen los límites legislados, en la mayoría de los casos el valor incidental triplica al valor habitual.

En el gráfico siguiente, se representa en porcentaje la clasificación en la escala de umbrales el número de casos VA/VM que pertenecen a un tramo u otro de la escala por contaminante.

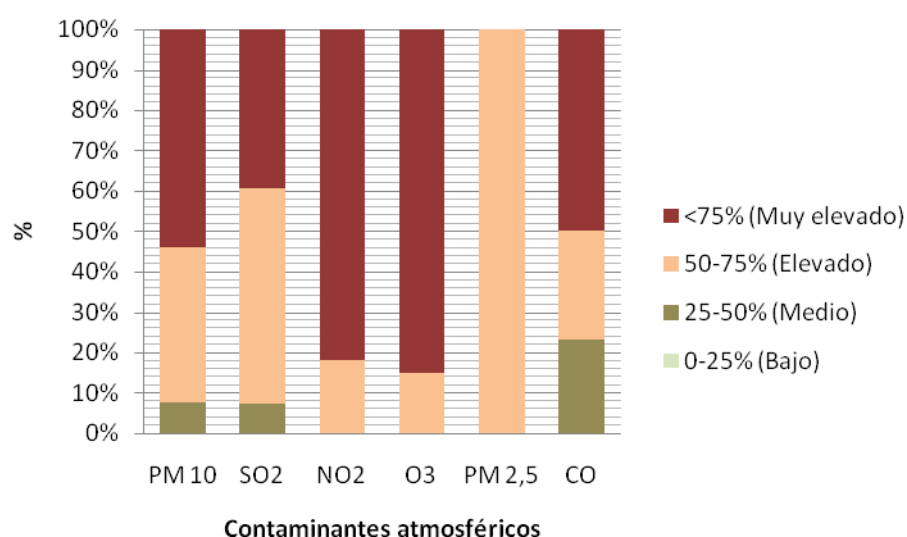


Gráfico 4: Clasificación de los casos con superaciones en la escala de umbrales determinada por contaminante. *Fuente: Elaboración propia.*

Si hayamos el porcentaje que supone el total de casos con VA/VM sobre el total de casos monitorizados para los 6 contaminantes, nos dará un resultado del 23%. Mientras que si contabilizamos el número de casos VA/VM que han estado por encima del 75% (Muy elevado) obtendremos 57 casos, lo que supone un 56,4% del total.

Aunque a primera vista, los resultados obtenidos en algunos contaminantes pueden no ser relevantes, como es el caso por ejemplo del dióxido de nitrógeno en el que hemos obtenido VA/VM en 11 casos, el 10,3% del total de casos monitorizados (107), lo cierto es que hay indicios de correlación. Además otro aspecto importante a destacar es la extrapolación de la muestra, que en 11 casos se obtengan VA/VM de un total de 107 casos monitorizados no resulta a primera vista importante, pero si este dato la extrapolamos a una muestra de 1000 casos monitorizados obtendríamos 103 casos con superaciones, dato quizás más atractivo a la hora de evaluarlo e interponer medidas para su minimización. Si bien, nuestro objetivo ha sido evaluar si con el uso de la metodología descrita con anterioridad, existe correlación entre la concentración de contaminantes e ingresos hospitalarios por enfermedad pulmonar, habiéndose obtenido una correlación positiva entre ambas variables, competencia de las autoridades sanitarias y/o medioambientales será la de valorar si dicha correlación es relevante y por lo tanto merecedora de consideración.

7. CONCLUSIONES

‘Todos intentamos crear condiciones óptimas para nuestro bienestar en nuestro entorno. La calidad del aire que respiramos influye notablemente en nuestra vida y nuestro bienestar’

(Cesarino Leoni)

Tras haber analizado los resultados obtenidos en nuestro estudio, se obtienen las siguientes conclusiones específicas:

-La contaminación ambiental, especialmente la atmosférica es un problema global, que afecta en mayor o menor medida a todas las regiones del planeta.

-Existe preocupación mundial por la prevención de enfermedades que pueden estar relacionadas con la contaminación ambiental.

-Existen estudios científicos que correlacionan enfermedades específicas con altos niveles de contaminación atmosférica.

-Existen solo estudios aislados en lugares en los que no se superan los umbrales establecidos por la legislación.

-En estos lugares sin relevancia aparente de la contaminación atmosférica, se producen ingresos hospitalarios por afección pulmonar, de carácter idiopático.

-Analizando el caso de Sevilla, atendiendo a los niveles encontrados en <30 días, y media de 30 días de los tres años anteriores, en la estación de referencia en el área de influencia del lugar de residencia del paciente, para PM_{2,5}, PM₁₀, CO, SO₂, NO₂ y O₃:

- En todos los contaminantes estudiados hemos obtenido superaciones del valor media del periodo de estudio sobre los valores media anual y mensual (VA/VM), que ascienden al 23% de los casos. El número de superaciones (VA/VM) obtenidas han sido mayores para el CO y el SO₂ y menores para PM₁₀ y NO₂.
- Las superaciones del valor media del periodo de estudio sobre los valores media anual y mensual (VA/VM) se corresponden con superaciones de más del 75% (Muy elevado) en el 56,4% de los casos para todos los contaminantes

tratados. El O_3 es el contaminante en el que el porcentaje de superaciones es mayor para el intervalo <75%, en el lado opuesto se encontraría el SO_2 .

Como conclusión general, podemos afirmar que para los 6 contaminantes estudiados existe correlación entre concentración de contaminantes atmosféricos e ingresos hospitalarios, haciendo uso de la metodología detallada en el apartado 5.

Por todo ello, cabe proponer la metodología descrita para los fines definidos al entender que ha quedado suficientemente validada la misma.

8. BIBLIOGRAFIA

*‘Por desgracia, no hay ningún lugar donde podamos respirar únicamente
aire limpio’*

(Erik Le Bret)

1. Ecologistas en acción (2006). *Causas de la contaminación del aire*. [en línea]. Disponible en: <http://www.ecologistasenaccion.org/spip.php?article5681>
2. Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid (COIIM). *Jornadas de medio ambiente (2007)*. [en línea]. Disponible en: http://www.coiim.es/rrii/Descargas/COIIM_Medio%20Ambiente07.pdf
3. Agencia europea del medio ambiente (2013). *Cada vez que respiramos. Mejorar la calidad del aire en Europa*.pdf. [en línea]: Disponible en: <http://www.eea.europa.eu/es/publications/senales-2013-cada-vez-que-respiramos>
4. Organización Mundial de la Salud. Departamento de Salud Pública, Medio Ambiente y Determinantes Sociales de la Salud: *Efectos sobre la salud*. [en línea]. Disponible en: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/index2.html
5. Organización mundial de la Salud. *Calidad del aire (exterior) y salud*. Nota descriptiva Nº 313. Marzo de 2014. [en línea]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
6. Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gyparis A, le Tertre A, Monopolis Y et al. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 european cities within the APHEA 2 project. *Epidemiology* 2001; 12:521-31.
7. Ballester F, Rodríguez P, Iñíguez C, Saez M, Daponte A, Galán I, Taracido M, Arribas F, Bellido J, Cirarda FB, Cañada A, Guillén JJ, Guillén-Grima F, López E, Pérez-Hoyos S, Lertxundi A, Toro S. Air pollution and cardiovascular admissions association in Spain: results within the EMECAS project. *J Epidemiol Community Health*. 2006 Apr; 60(4): 328-36
8. Nawrot TS, Vos R, Jacobs L, Verleden SE, Wauters S, Mertens V, Dooms C, Hoet PH, Van Raemdonck DE, Faes C, Dupont LJ, Nemery B, Verleden GM, Vanaudenaerde BM. The impact of traffic air pollution on bronchiolitis obliterans syndrome and mortality after lung transplantation. *Thorax*. 2011 Sep;66(9):748-54.
9. Maheswaran R, Pearson T, Campbell MJ, Haining RP, McLeod CW, Smeeton N, Wolfe CD. A protocol for investigation of the effects of outdoor air pollution on stroke incidence, phenotypes and survival using the South London Stroke Register. *Int J Health Geogr*. 2006 Mar 17;5:10.
10. Sacks JD, Stanek LW, Luben TJ, Johns DO, Buckley BJ, Brown JS, Ross M. Particulate matter-induced health effects: who is susceptible? *Environ Health Perspect*. 2011 Apr;119(4):446-54.

11. Baccarelli A, Martinelli I, Zanobetti A, Grillo P, Hou LF, Bertazzi PA et al. Exposure to particulate air pollution and risk of deep venous thrombosis. Arch Intern Med 2008; 168:920-27.
12. Dales RE, Cakmak S and Vidal CB. Air pollution and hospitalization for venous thromboembolic disease in Chile. J Thromb Haemost 2010; 8:669-74
13. Tobias Garces. A, Sunyer Deu. J, Castellsague Pique. J, Saez Zafra. M, Anto Boque. J.M, (1998). *Impacto de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad y las urgencias por enfermedad pulmonar obstructiva crónica y asma en Barcelona*. Gaceta sanitaria (Elsevier) Volume 12, Issue 5, Pages 223-230.
14. Miller KA, Siscovick DS, Sheppard L, et al. Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. N Engl J Med 2007; 356: 447-58.
15. Organización mundial de la salud. 'Review of evidence on health aspects of air pollution'. [en línea]. Disponible en: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1
16. Davila.I, Mullol.J, Bartra.J, del Cuvillo. A, Ferrer. M, Jauregui. I, Montoro.J, Sastre.J, Valero. A.(2007) *Effect of pollutants upon patients with respiratory allergies* .J Investig Allergol Clin Immunol, Vol. 17, Suppl. 2:9-20
17. Matute-Najarro. R, Gonzalez-Hidalgo. Jose Carlos.(2011). *Las inmisiones de ozono en la ciudad de Zaragoza, periodo 2002-2008*. Geographica, 59-60, 241-253.
18. Organización mundial de la Salud. *Cánceres de origen ambiental y ocupacional*. Nota descriptiva Nº 350. Julio de 2011. [en línea]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs350/es/>
19. Asociación Española contra el Cancer (AECC). Incidencia del cáncer de pulmón. [en línea]: Disponible en: <https://www.aecc.es/SobreElCancer/CancerPorLocalizacion/cancerdepulmon/Paginas/incidencia.aspx>.
20. IARC Scientific Publication No. 161. EISBN 978-92-832-2161-6. *Air Pollution and Cancer*. Editors: Kurt Straif, Aaron Cohen, and Jonathan Samet. [en línea]. Disponible en:<http://www.iarc.fr/en/publications/books/sp161/index.php>
21. C. Arden Pope III, PhD; Richard T. Burnett, PhD; Michael J. Thun, MD; Eugenia E. Calle, PhD; Daniel Krewski, PhD; Kazuhiko Ito, PhD; George D. Thurston, ScD.(2002). *Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution*. The Journal of the American Medical Association.Vol 287, Nº 9. [en línea]. Disponible en: <http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=194704>

22. Ole Raaschou-Nielsen, Zorana J Andersen, Rob Beelen, Evangelia Samoli, Massimo Stafoggia, Gudrun Weinmayr, and others. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *The Lancet Oncology*, Vol. 14, No. 9, p813–822
Published online: July 10, 2013 [en línea]: Disponible en :
<http://www.thelancet.com/action/doSearch?searchType=quick&searchText=Mark+Nieuwenhuijsen&occurrences=author&journalCode=&searchScope=fullSite>
23. Organización mundial de la salud (OMS). *Guía de calidad del aire relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre* (2005). [en línea]: Disponible en :
http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_agg/es/
24. Pope CA et al. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*, 287:1132– 1141
25. Burnett RT et al. (2004). Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities. *Archives of Environmental Health*, 59:228–236.
26. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. *El calentamiento global en España*. ISBN:978-84-00-07814-0:[en línea].Disponible en:
<http://waste.ideal.es/andaluciacontaminacion.htm>
27. Linares C, Díaz J. (2009). *Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2 micras (PM2,5) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid*. *Gaceta sanitaria*; 23(3):192-197. :[en línea].Disponible en:
<http://saudepublica.bvs.br/pesquisa/resource/pt/ibc-110739>
28. Consejería de sanidad y política social. Región de Murcia. *Contaminación del aire ambiente. Dióxido de nitrógeno*: [en línea].Disponible en:
<http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180252&idsec=1573>
29. Organización Mundial de la Salud. Departamento de Salud Pública, Medio Ambiente y Determinantes Sociales de la Salud: *Efectos sobre la salud*: [en línea]. Disponible en:
http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/index1.html

